



(10) 授权公告号 CN 116635597 B

(45) 授权公告日 2024.10.11

(21) 申请号 202180076493.5

(22) 申请日 2021.10.08

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116635597 A

(43) 申请公布日 2023.08.22

(30) 优先权数据
17/125,967 2020.12.17 US(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2023.05.12(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2021/071792 2021.10.08(87) PCT国际申请的公布数据
W02022/133363 EN 2022.06.23(73) 专利权人 拓普康定位系统公司
地址 美国加利福尼亚州(72) 发明人 谢哈布·卡兰塔尔
德米特罗·波普拉夫斯基(74) 专利代理机构 成都超凡明远知识产权代理
有限公司 51258
专利代理师 侯艳超(51) Int.Cl.
E02F 3/84 (2006.01)
G05B 13/02 (2006.01)
E02F 9/26 (2006.01)(56) 对比文件
CN 106436791 A, 2017.02.22
CN 109101032 A, 2018.12.28

审查员 刘雪松

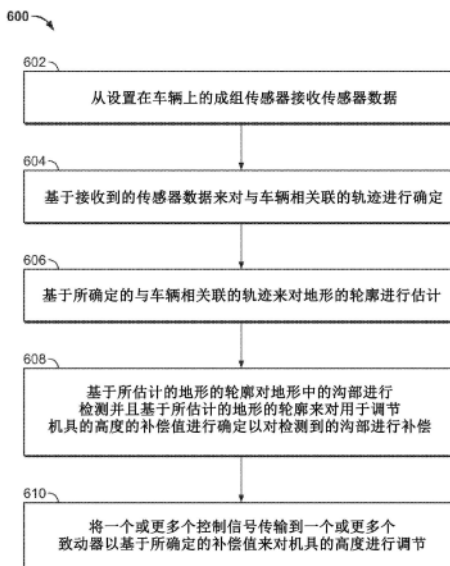
权利要求书5页 说明书18页 附图15页

(54) 发明名称

调节车辆的机具的高度的方法、介质、控制
器、车辆

(57) 摘要

提供一种用于当车辆(100)行驶在地形(108)上时对安装在车辆(100)的车身(102)上的机具(104)的高度进行调节的方法。从设置在车辆上的成组传感器(122、124)接收传感器数据。基于接收到的传感器数据来对与车辆相关联的轨迹进行确定。基于所确定的与车辆相关联的轨迹来对地形的轮廓进行估计。基于所估计的地形的轮廓对地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿。将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器(118)以基于所确定的补偿值来对机具的高度进行调节。



1. 一种用于在车辆行驶在地形上时对安装在所述车辆的车身上的机具的高度进行调节的方法,所述方法包括:

从设置在所述车辆上的成组传感器接收传感器数据;

基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定;

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计;

基于所估计的地形的轮廓来对所述地形中的沟部进行检测,并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿;以及

将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节,

其中,将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节包括:

将用于实现目标地形表面的初始误差值与所确定的补偿值进行组合来生成最终误差值;以及

根据所述最终误差值生成用于对所述机具的高度进行调节的所述一个或多个控制信号。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定包括:

基于所述接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定;

将所述车身的状态和所述机具的状态映射到一维空间以对所述车辆的状态进行确定;以及

基于所述车辆的状态来对与所述车辆相关联的所述轨迹进行确定。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,基于接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定包括:

对以下各者进行确定:所述车身的位置和取向;所述机具的位置和取向;与所述车身的位置和取向以及所述机具的位置和取向的每个轴线相关联的线速度和角速度。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计包括:

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对与所述车身相关联的俯仰进行确定。

5. 根据权利要求1所述的方法,其中,基于所估计的地形的轮廓来对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿包括:

对所估计的地形的轮廓的一阶导数进行计算;

针对当前点的所估计的地形的轮廓的一阶导数为过零进行确定;以及

将针对所述当前点的所估计的地形的轮廓的幅度与针对被确定为过零的最近点的所估计的地形的轮廓的幅度进行比较。

6. 根据权利要求5所述的方法,其中,基于所估计的地形的轮廓来对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿还包括:

对所述当前点与被确定为所估计的地形的轮廓中的隆起部的最近点之间的点范围进

行确定;以及

基于所估计的地形的轮廓在所述当前点和被确定为所述隆起部的所述最近点处的形状特征和差分幅度,来对所述点范围内的每个点的补偿值进行确定。

7.根据权利要求6所述的方法,其中,所述形状特征包括阶梯形状特征、对数形状特征、二次形状特征、斜坡形状特征、指数形状特征、或它们的组合。

8.根据权利要求1所述的方法,其中,所述车辆包括推土机,并且所述车辆的所述机具包括铲刀。

9.一种非暂态计算机可读介质,所述非暂态计算机可读介质存储有计算机程序指令,所述计算机程序指令用于在车辆行驶在地形上时对安装在所述车辆的车身上的机具的高度进行调节,所述计算机程序指令在由处理器执行时使所述处理器执行下述操作,所述操作包括:

从设置在所述车辆上的成组传感器接收传感器数据;

基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定;

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计;

基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测,并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿;以及

将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节,

其中,将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节包括:

将用于实现目标地形表面的初始误差值与所确定的补偿值进行组合来生成最终误差值;以及

根据所述最终误差值生成用于对所述机具的高度进行调节的所述一个或多个控制信号。

10.根据权利要求9所述的非暂态计算机可读介质,其中,基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定包括:

基于所述接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定;

将所述车身的状态和所述机具的状态映射到一维空间以对所述车辆的状态进行确定;以及

基于所述车辆的状态来对与所述车辆相关联的所述轨迹进行确定。

11.根据权利要求10所述的非暂态计算机可读介质,其中,基于接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定包括:

对以下各者进行确定:所述车身的位置和取向;所述机具的位置和取向;与所述车身的位置和取向以及所述机具的位置和取向的每个轴线相关联的线速度和角速度。

12.根据权利要求9所述的非暂态计算机可读介质,其中,基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计包括:

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对与所述车身相关联的俯仰进行确定。

13.根据权利要求9所述的非暂态计算机可读介质,其中,基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度

的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿包括：

对所估计的地形的轮廓的一阶导数进行计算；

针对当前点的所估计的地形的轮廓的一阶导数为过零进行确定；以及

将针对所述当前点的所估计的地形的轮廓的幅度与针对被确定为过零的最近点的所估计的地形的轮廓的幅度进行比较。

14. 根据权利要求13所述的控制器，其中，基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿还包括：

对所述当前点与被确定为所估计的地形的轮廓中的隆起部的最近点之间的点范围进行确定；以及

基于所估计的地形的轮廓在所述当前点和被确定为所述隆起部的所述最近点处的形状特征和差分幅度，来对所述点范围内的每个点的补偿值进行确定。

15. 根据权利要求14所述的控制器，其中，所述形状特征包括阶梯形状特征、对数形状特征、二次形状特征、斜坡形状特征、指数形状特征或其组合。

16. 一种控制器，所述控制器包括：

处理器；以及

存储器，所述存储器用于存储计算机程序指令，所述计算机程序指令用于在车辆行驶在地形上时对安装在所述车辆的车身上的机具的高度进行调节，所述计算机程序指令在处理器上执行时使所述处理器执行下述操作，所述操作包括：

从设置在所述车辆上的成组传感器接收传感器数据；

基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定；

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计；

基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测，并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿；以及

将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节，

其中，将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节包括：

将用于实现目标地形表面的初始误差值与所确定的补偿值进行组合来生成最终误差值；以及

根据所述最终误差值生成用于对所述机具的高度进行调节的所述一个或多个控制信号。

17. 根据权利要求16所述的控制器，其中，基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿包括：

对所估计的地形的轮廓的一阶导数进行计算；

针对当前点的所估计的地形的轮廓的一阶导数为过零进行确定；以及

将针对所述当前点的所估计的地形的轮廓的幅度与针对被确定为过零的最近点的所估计的地形的轮廓的幅度进行比较。

18. 根据权利要求17所述的控制器,其中,基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿还包括:

对所述当前点与被确定为所估计的地形的轮廓中的隆起部的最近点之间的点范围进行确定;以及

基于所估计的地形的轮廓在所述当前点和被确定为所述隆起部的所述最近点处的形状特征和差分幅度,来对所述点范围内的每个点的补偿值进行确定。

19. 根据权利要求18所述的控制器,其中,所述形状特征包括阶梯形状特征、对数形状特征、二次形状特征、斜坡形状特征、指数形状特征、或它们的组合。

20. 根据权利要求16所述的控制器,其中,所述车辆包括推土机,并且所述车辆的所述机具包括铲刀。

21. 一种车辆,所述车辆包括:

车身;

机具,所述机具联接到所述车身;

一个或多个致动器,所述一个或多个致动器联接到所述车身和所述机具;

成组传感器,所述成组传感器设置在所述车辆上,以用于在所述车辆行驶在地形上时生成传感器数据;以及

控制器,所述控制器用于:

接收所述传感器数据;

基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定;

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计;

基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测,并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿;以及

将一个或多个控制信号传输到所述一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节,

其中,将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对所述机具的高度进行调节包括:

将用于实现目标地形表面的初始误差值与所确定的补偿值进行组合来生成最终误差值;以及

根据所述最终误差值生成用于对所述机具的高度进行调节的所述一个或多个控制信号。

22. 根据权利要求21所述的车辆,其中,基于接收到的传感器数据来对与所述车辆相关联的轨迹进行确定包括:

基于所述接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定;

将所述车身的状态和所述机具的状态映射到一维空间以对所述车辆的状态进行确定;以及

基于所述车辆的状态来对与所述车辆相关联的所述轨迹进行确定。

23. 根据权利要求22所述的车辆,其中,基于接收到的传感器数据来对所述车身的状态和所述机具的状态进行确定包括:

对以下各者进行确定:所述车身的位置和取向;所述机具的位置和取向;与所述车身的位置和取向以及所述机具的位置和取向的每个轴线相关联的线速度和角速度。

24. 根据权利要求21所述的车辆,其中,基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对所述地形的轮廓进行估计包括:

基于所确定的与所述车辆相关联的轨迹来对与所述车身相关联的俯仰进行确定。

25. 根据权利要求21所述的车辆,其中,基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿包括:

对所估计的地形的轮廓的一阶导数进行计算;

针对当前点的所估计的地形的轮廓的一阶导数为过零进行确定;以及

将针对所述当前点的所估计的地形的轮廓的幅度与针对被确定为过零的最近点的所估计的地形的轮廓的幅度进行比较。

26. 根据权利要求25所述的车辆,其中,基于所估计的地形的轮廓对所述地形中的沟部进行检测并且基于所估计的所述地形的轮廓来对用于调节所述机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿还包括:

对所述当前点与被确定为所估计的地形的轮廓中的隆起部的最近点之间的点范围进行确定;以及

基于所估计的地形的轮廓在所述当前点和被确定为所述隆起部的所述最近点处的形状特征和差分幅度,来对所述点范围内的每个点的补偿值进行确定。

27. 根据权利要求26所述的车辆,其中,所述形状特征包括阶梯形状特征、对数形状特征、二次形状特征、斜坡形状特征、指数形状特征、或它们的组合。

28. 根据权利要求21所述的车辆,其中,所述车辆包括推土机,并且所述车辆的所述机具包括铲刀。

调节车辆的机具的高度的方法、介质、控制器、车辆

技术领域

[0001] 本发明总体上涉及一种用于调节车辆的机具的高度的控制系统,并且更具体地,涉及用于动态敏捷平整机中误差检测和恢复的输入整形(input shaping)。

背景技术

[0002] 平整是对地形表面进行操纵以获得目标地形表面的过程。平整是许多不同应用中的重要过程。例如,在施工中,可以进行平整以设置建筑物的地基。在农业中,可以进行平整以引导地表水径流。推土机通常用于对地形进行平整。推土机包括车身和联接到车身的铲刀。在操作中,当推土机在地形之上行驶时,对铲刀的高度进行调节以操纵地形的表面来达到目标地形表面。

[0003] 在推土机中可以实现传统的控制系统从而自动地调节铲刀的高度,以在推土机经历干扰时补偿对推土机的干扰。然而,传统的控制系统具有固有的响应延迟时间(例如,约100毫秒至300毫秒),这会阻碍对铲刀的高度进行及时地调节以对一些干扰进行补偿。例如,地形通常包括许多干扰因素,诸如沟部。当推土机在地形之上行驶时,沟部将使推土机向前俯仰,从而使铲刀降低。由于传统的控制系统无法及时地调节铲刀的高度,降低的铲刀将导致另外的沟部的创建。然后,推土机将在所创建的沟部之上行驶,从而创建另外的更大的沟部。随着推土机继续在地形之上行驶,该问题将持续存在,从而导致所平整的地形的不稳定和波动。

发明内容

[0004] 根据一个或多个实施方式,提供了一种用于在车辆行驶在地形上时对安装在车辆的车身上的机具的高度进行调节的系统和方法。从设置在车辆上的成组传感器接收传感器数据。基于接收到的传感器数据来对与车辆相关联的轨迹进行确定。基于所确定的与车辆相关联的轨迹来对地形的轮廓进行估计。基于所估计的地形的轮廓对地形中的沟部进行检测,并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿。将一个或多个控制信号传输到一个或多个致动器以基于所确定的补偿值来对机具的高度进行调节。车辆可以是推土机并且车辆的机具可以是铲刀。

[0005] 在一个实施方式中,通过以下各者来对与车辆相关联的轨迹进行确定:基于接收到的传感器数据来对车身的状态和机具的状态进行确定;将车身的状态和机具的状态映射到一维空间以对车辆的状态进行确定;以及基于车辆的状态来对与车辆相关联的轨迹进行确定。车身的状态和机具的状态可以被确定为:车身的位置和取向;机具的位置和取向;以及与车身的位置和取向以及机具的位置和取向的每个轴线相关联的线速度和角速度。

[0006] 在一个实施方式中,通过基于所确定的与车辆相关联的轨迹来对与车身相关联的俯仰进行确定而对地形的轮廓进行估计。

[0007] 在一个实施方式中,通过以下各者来对沟部进行检测:对所估计的地形的轮廓的一阶导数进行计算;对针对当前点的所估计的地形的轮廓的一阶导数为过零进行确定;以

及将针对当前点的所估计的地形的轮廓的幅度与针对被确定为过零的最近点的所估计的地形的轮廓的幅度进行比较。通过以下各者来对补偿值进行确定：对当前点与被确定为所估计的地形的轮廓中的隆起部的最近点之间的点范围进行确定；以及基于所估计的地形的轮廓在当前点和被确定为隆起部的最近点处的形状特征和差分幅度，来对点范围内的每个点的补偿值进行确定。形状特征可以包括阶梯形状特征、对数形状特征、二次形状特征、斜坡形状特征、指数形状特征、或它们的组合。

[0008] 在一个实施方式中，通过以下各者对一个或多个控制信号进行传输：将用于实现目标地形表面的初始误差值与所确定的补偿值进行组合来生成最终误差值；以及根据最终误差值生成用于对机具的高度进行调节的一个或多个控制信号。

[0009] 通过参考下面的详细描述和附图，本领域的普通技术人员将清楚本发明的这些和其他优点。

附图说明

[0010] 图1示出了根据一个或多个实施方式的示例性推土机；

[0011] 图2示出了根据一个或多个实施方式的推土机操作的示例性2D环境；

[0012] 图3示出了根据一个或多个实施方式的预测控制系统的示意图，该预测控制系统用于针对2D环境调节安装在推土机的车身上的铲刀的高度；

[0013] 图4示出了根据一个或多个实施方式的控制器系统的框图，该控制器系统用于针对2D环境调节安装在推土机的车身上的铲刀的高度；

[0014] 图5示出了根据一个或多个实施方式的预测控制系统，该预测控制系统用于针对3D环境调节安装在车辆的车身上的机具的高度；

[0015] 图6示出了根据一个或多个实施方式的用于针对3D环境调节安装在车辆的车身上的机具的高度的方法；

[0016] 图7示出了根据一个或多个实施方式的示例性推土机；

[0017] 图8示出了根据一个或多个实施方式的车辆的刚体模型的示意图；

[0018] 图9示出了根据一个或多个实施方式图示在所估计的地形的轮廓中检测到沟部的曲线图；

[0019] 图10示出了根据一个或多个实施方式的各种形状特征的视图；

[0020] 图11示出了根据一个或多个实施方式的描述沟部的补偿的曲线图；

[0021] 图12示出了根据一个或多个实施方式的车身的示例性示意图；

[0022] 图13示出了根据一个或多个实施方式的车身的车身与车身的相关性和车身与机具的相关性的曲线图；

[0023] 图14示出了根据一个或多个实施方式的示例性史密斯预测器类型控制器；以及

[0024] 图15示出了可以被用于实现一个或多个实施方式的计算机的高级框图。

具体实施方式

[0025] 参考图1，示出根据一个或多个实施方式的示例性推土机100。推土机100包括车身102以及经由动臂杆（未示出）可枢转地联接到车身102的铲刀104（或其他合适的机具）。推土机100还包括用于在地形108之上行驶的履带106，并且推土机100可以自主地操作或由

操作员手动地操作。通常,在操作中,推土机100可以被用在建筑环境、农业环境或任何其他环境中,以经由铲刀104来对地形108的表面上的土壤、沙子、碎石等进行操纵,从而获得目标地形表面。当推土机100在地形108之上行进时,推土机100可能会遇到地形108中的各种干扰。这种干扰的一个示例是沟部。

[0026] 推土机100在三维(3D)环境中操作并且铲刀104具有相对于车身的旋转运动的三个自由度。相应地,推土机100的状态可以由车身102的位置(在导航参考系116中)、车身102的取向(在导航参考系116中)以及铲刀104相对于车身102的相对取向(在车身参考系112中)来限定。在一个实施方式中,位置以(X,Y,Z)笛卡尔坐标来限定,并且取向以(横摆、俯仰、滚动)欧拉角来限定。然而,应当理解的是,可以以任何合适的格式来表示位置和取向。例如,位置可以被表示为位于地形108的表面上的二维(2D)曲线(这将需要地形108的知识)并且取向可以被表示为旋转矩阵、四元数等。

[0027] 推土机可以使用传统控制系统来实现以用于对铲刀的高度进行调节。然而,传统控制系统具有固有的响应延迟时间,这阻碍了这样的传统控制系统对铲刀的高度进行及时地调节以对沟部和其他这样的干扰进行补偿。

[0028] 本文所述的实施方式提供预测控制系统以基于铲刀104的运动来对由于地形108的干扰而产生的对车身102的干扰(例如,由于沟部)进行预测。预测控制系统包括:控制器120、设置在铲刀104上的成组传感器122和/或设置在车身102上的传感器124、以及联接到车身102和铲刀104的一个或更多个致动器118。控制器120从成组传感器122和/或传感器124接收数据以预测对车身102的干扰并且生成用于控制致动器118的控制信号以用于调节铲刀104的高度来对所预测的干扰进行补偿。有利地,控制器120对车身102上的干扰进行预测,从而提供足够的时间来调节铲刀104以对沟部和其他这样的干扰进行补偿。为了说明的简单起见,在针对3D环境进行描述之前,将首先针对图2至图4的2D环境来描述对由于地形108中的干扰而引起的对车身102的干扰的预测。

[0029] 图2示出了根据一个或更多个实施方式的推土机202操作的示例性2D环境200。推土机202包括车身206和铲刀208。在一个示例中,推土机202可以是图1的推土机100。如图2所示,推土机202在2D环境200中操作以对地形204的表面进行操纵。推土机202的车身206由车身206的高度和车身206相对于水平面的俯仰角来参数化。推土机202的铲刀208由铲刀俯仰角 θ_{210} 来参数化。推土机202的性能通过测量地形204的实际表面与地形204的目标表面之间的差异来评估。根据一个或更多个实施方式,推土机202用一个或更多个传感器、一个或更多个致动器以及用于自动调节铲刀208的高度的控制器来实现。

[0030] 图3示出了根据一个或更多个实施方式的预测控制系统的示意图300,该预测控制系统用于针对2D环境对安装在推土机的车身上的铲刀的高度进行调节。在一个示例中,推土机可以是图1的推土机100或图2的推土机202。

[0031] 在块304处,基于安装在车辆的车身上的成组传感器来确定车辆的车身姿态(位置)。用于确定车身姿态的成组传感器可以包括用于确定车辆的车身的(X,Y)笛卡尔坐标的位置传感器。在块302处,基于安装在车辆的车身上的成组传感器和车身姿态(在步骤304确定)来确定车辆的车身运动学。在一个示例中,用于确定车身运动学的成组传感器可以包括角旋转传感器和加速度计。在块308处,基于车身姿态、车身运动学以及安装在车辆的铲刀上的成组传感器来确定铲刀正向运动学。在块310处,基于铲刀正向运动学来确定铲刀姿

态。在块306处,基于铲刀姿态和车身姿态来确定铲刀的反向旋转运动学。在块312处,基于来自表面引擎314的表面查询结果来执行路径和轨迹规划。在块316处,基于路径和轨迹规划来确定铲刀逆向运动学。在块318处,根据铲刀逆向运动学确定接合件到冲头运动学。在块320处,将接合件到冲头运动学输入控制器(例如,比例-积分-微分控制器),该控制器向阀322输出指令以对铲刀的高度进行调节。

[0032] 图4示出了根据一个或更多个实施方式的控制器系统400的框图,该控制器系统400用于针对2D环境对安装在推土机的车身上的铲刀的高度进行调节。如图4所示,控制器系统400包括控制器402和设施404。控制器402从安装在推土机的车身和铲刀上的传感器406接收数据,并且通过观测器408来估计车身和铲刀的状态。观测器408生成补偿值(被称为铲刀 z)420,这些补偿值与用于生成所期望的表面410的初始误差值组合以生成误差418。误差418被输入到低级控制器412,该低级控制器412向液压和延迟器414发送命令以对机器的铲刀的高度进行调节,从而对地面进行操纵416。

[0033] 图5示出了根据一个或更多个实施方式的预测控制系统的示意图500,该预测控制系统用于针对3D环境对安装在车辆的车身上的机具的高度进行调节。图6示出了根据一个或更多个实施方式的用于针对3D环境对安装在车辆的车身上的机具的高度进行调节的方法600。将一起描述图5和图6。图6的方法600的步骤可以由控制器(例如,图1的控制器120)或任何其他合适的一个或更多个计算设备(诸如,例如图11的计算机1102)来执行。示例性控制器包括诸如比例-积分-微分(proportional-integral-derivative, PID)控制器或可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)等的简单控制器和诸如史密斯预测器或模型预测控制(model predictive control, MPC)等的更复杂的控制器。

[0034] 车辆可能最初在地形之上行驶以经由机具对地形进行操纵来达到目标地形表面。根据初始误差值来对车辆的机具的高度进行调节,以达到目标地形表面。然而,根据初始误差值来对机具的高度进行调节可能无法补偿某些干扰,诸如,例如地形中的沟部。根据方法500,将补偿值确定为补偿地形中的沟部和其他干扰。补偿值可以与初始误差值进行组合来生成最终误差值,从而对机具的高度进行调节以实现目标地形表面,同时还对地形中的沟部和其他干扰进行补偿。

[0035] 在步骤602,从设置在车辆上的成组传感器接收传感器数据。车辆可以是具有联接到车身的机具的任何车辆,诸如,例如工程车辆(例如,具有联接到车身的铲刀的推土机或具有联接到车身的铲刀的紧凑型履带式装载机)或农用车(例如,具有联接到车身的收割台的联合收割机)。在一个示例中,车辆是图1的推土机100,该推土机100具有联接到车身102的铲刀104和传感器122和124。如图5所示,车辆可以是推土机502并且成组传感器可以是传感器504。

[0036] 成组传感器可以包括任何数目的合适的传感器或多个传感器,所述传感器用于确定车身的位置和取向、车辆的机具的位置和取向、以及每个轴的线速度和角速度。在一个实施方式中,位置以(X,Y,Z)笛卡尔坐标来限定,并且取向以(横摆、俯仰、滚动)欧拉角来限定。然而,应当理解的是,可以以任何合适的格式来表示位置和取向。示例性传感器可以包括惯性测量单元(inertial measurement unit, IMU)、全球定位系统(global positioning system, GPS)传感器、本地定位系统(local positioning system, LPS)传感器、声波测距仪、激光测距仪、编码器、内冲头压力传感器、里程表或任何其他合适的传感器。

[0037] 成组传感器可以设置在车辆上任何合适的位置或多个位置,以用于确定车身的位置和取向、机具的位置和取向、以及每个轴的线速度和角速度。例如,成组传感器可以包括设置在机具上的一个或更多个传感器和/或设置在车身上的一个或更多个传感器。在一个实施方式中,成组传感器以无桅杆配置设置在车辆上,其中两个GPS传感器安装在车身上,IMU安装在车身上,以及IMU安装在机具上。安装在车身上的GPS传感器形成主-辅对,并且运行实时运动学(real-time kinematic,RTK)算法。可选地,在车辆是带有推杆的推土机的情况下,附加的IMU可以安装在推杆上。在另一实施方式中,成组传感器以有桅杆配置设置在车辆上,其中一个或两个GPS传感器安装在机具上,IMU安装在机具上,以及可选地,IMU安装在车身上。

[0038] 在步骤604处,基于接收到的传感器数据来对与车辆相关联的轨迹进行确定。轨迹表示当车辆行驶在地形上时与车辆相关联的点的位置。将继续参考图5描述轨迹的确定。

[0039] 为了确定轨迹,首先基于接收到的传感器数据来确定车辆的车身的状态和车辆的机具的状态。如图5所示,观察(估计)块506从传感器504接收数据以对观察到的车身的状态508和机具的状态510进行估计。车身的状态和机具的状态根据24个参数来限定,这些参数对应于车身和机具的位置(例如,在X、Y、Z笛卡尔坐标中)以及车身和机具的取向(例如,在横摆角、俯仰角、滚动欧拉角中)、以及每个轴的线速度和角速度。

[0040] 暂时返回参考图1,推土机100在具有各种参考系(诸如,例如,车身102的车身参考系114、铲刀104的铲刀参考系112、地形表面108的表面片部参考系110以及推土机100的导航的导航参考系116)的三维环境中运行。车身102的状态根据车身102在车身参考系114中的(相对于一些参考点的)绝对位置和取向来限定。铲刀104的状态根据铲刀104在铲刀参考系104中的(相对于车身参考系114的)相对位置和取向来限定。铲刀104的绝对位置和取向(在车身参考系114中相对于参考点的)可以根据铲刀104的相对位置和取向来确定。

[0041] 车身的状态和机具的状态使用以下部件来确定:

[0042] (1) 用于基于以下各者来确定车身的位置以及线速度和角速度的扩展卡尔曼滤波器:a) 来自安装在车身上的IMU的加速度计输出,b) 来自安装在车身上的主GPS的位置输出,以及c) 车身取向(来自(2)中的扩展卡尔曼滤波器的输出);

[0043] (2) 用于基于以下各者来确定车身的取向的扩展卡尔曼滤波器:a) 来自安装在车身上的IMU的陀螺仪输出,b) 来自安装在车身上的辅助GPS输出的基线(从辅助GPS到主GPS的矢量),以及c) 重力矢量(由(3)中的车身加速度计算机估计);

[0044] (3) 车身加速度计算机,该车身加速度计算机用于基于以下各者来估计安装在车身上的IMU的位置处的重力矢量:a) 车身速度(来自(1)中的扩展卡尔曼滤波器的输出),以及b) 来自安装在车身上的IMU的陀螺仪输出;

[0045] (4) 用于基于以下各者来确定机具的取向的扩展卡尔曼滤波器,:a) 来自安装在机具上的IMU的陀螺仪输出,以及b) 重力矢量(由(5)中的机具加速度计算机估计出的);

[0046] (5) 机具加速度计算机,该机具加速度计算机用于基于铲刀速度(由(6)中的铲刀运动学模块计算出的)对安装在机具上的IMU的位置处的重力矢量进行估计;以及

[0047] (6) 铲刀运动学模块,该铲刀运动学模块用于基于以下各者来对机具相对于车身的位置和取向、机具的线速度和角速度、以及运动学结构的接合件的角度和速率进行计算:a) 车身的位置和线速度和角速度(由(1)中的扩展卡尔曼滤波器确定的)以及车身的取向

(由(2)中的扩展卡尔曼滤波器确定的),b)机具的取向和角速度(由(4)中的扩展卡尔曼滤波器确定的),以及c)车辆的运动学结构(例如,车辆的骨架或蓝图)。车辆的运动学结构是指车辆的接合件的数目以及车辆的接合件相对于彼此的定位方式。下面关于图12进一步描述车辆的运动学结构。

[0048] 然后将车身的状态和机具的状态与目标地形表面一起映射到一维空间以确定作为整体的车辆的一维状态。如图5所示,车身的状态508和机具的状态510以及目标地形表面512通过映射到切面块514而被映射到切面以确定车辆的状态516。暂时参考图7,根据一个或更多个实施方式,将包括车身702和铲刀704的推土机700示出为在地形上沿推土机路径708行进。车身702和铲刀704的状态(在位置、取向、以及线速度和角速度方面)被映射到垂直于推土机路径708的切面706。

[0049] 为了将车身702和铲刀704的状态映射到一维切面706,对铲刀704上的各种兴趣点进行识别:

[0050] (1) 铲刀704的中点,被限定为大约位于铲刀704的两个边缘的中间位置。铲刀中点通常是在铲刀为正方形(零横摆)时确定铲刀704相对于所期望的表面的升降的点;

[0051] (2) 铲刀704的边缘点。例如,右边缘可以被用作测量机器和勘测传感器的位置的参考。这样的边缘可以被指定为点(0,0,0);

[0052] (3) 点拟合兴趣点(point-fitpoint of interest,POI),被限定为铲刀704的边缘之间并且包括铲刀的边缘的用户选择的点。通过对特定点进行选择,通过限定比率(从0到1,其中0表示一个边缘并且1表示另一个边缘),用户表明他们对铲刀704的所期望的表面的特定区域的偏好。换句话说,在POI正下方的表面片部将被用作计算主落差(mainfall)和横坡误差的基础。在一个实施方式中,比率的默认值为代表中点的0.5;以及

[0053] (4) 最佳拟合兴趣点,除了由控制系统确定外,该最佳拟合兴趣点与点拟合POI相同。在最佳拟合操作模式下,所选择的表面片部是基于多种因素的,所述多种因素包括哪一个表面片部与边缘重叠最大或哪一个表面片部最接近铲刀边缘。通常,所选择的最佳拟合POI是边缘点中的任一个。

[0054] 一个或更多个这样的兴趣点被投影到1D平面上以在称为表面交点的点处相交。控制系统的目标是移动铲刀704,使得兴趣点(作为时间的函数)在有限时间内收敛到表面交叉点(也是时间的函数)。更一般地,铲刀704的边缘应该相交并且位于与从POI延伸的竖向射线相交的表面片部(其是空间平面)上。

[0055] 尽管本文描述的实施方式可以被扩展到3D,但如果将问题转换为在2D平面(被嵌入3D空间)上限定的问题,它们将大大简化并获得更多的性能。铲刀704的中点不应作为选择平面的基础,因为随着铲刀倾斜和/或旋转,该中点一直在变化。此外,轨迹是随着车身移动而创建的。因此,选择该平面作为将推土机划分为两部分(例如,左和右)的矢状切面706。可以证明这不会损害一般性。换句话说,控制这个平面上的圆柱体将确保问题在3D空间中也得到解决。

[0056] 形式上,导航坐标参考系被表示为 $N(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ 。导航坐标参考系的中心并不重要。铲刀704的中点在3D空间中被表示为 $m(x, y, z)$,其是相对于导航参考系被表达的。铲刀704的边缘(以 m 为中心)的坐标参考系被表示为 $M(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$,其中单位方向 $\vec{y}$ 沿铲刀704的边缘指

向(正向右),当铲刀704处于零位置(在校准时确定)时, $\vec{z}$ 沿竖直方向向下指向,以及 $\vec{x}$ 向前指向、与 $\vec{y}$ 和 $\vec{z}$ 正交。兴趣点被表示为 $p(x, y, z)$ 。表面交点被表示为 $s(x, y, z)$ 。以 p 为中心的参考系被表示为 $s(\vec{u}, \vec{v}, \vec{w})$ 。矢状切面706被表示为 $P(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$,其中 $\vec{i}$ 位于指向机器的前方的平面上, $\vec{j}$ 与该平面正交,以及 $\vec{k}$ 是沿局部重力矢量的。

[0057] 车身702和铲刀704的状态可以如下被映射到切面706。首先,通过改变比率 α 选择兴趣点(点拟合或最佳拟合兴趣点)。使用运动学,在导航参考系中表示兴趣点,以获得 $p(x, y, z)$ 。通过运动学计算 m 和 M ,从而得到:

$$[0058] \quad p(x, y, z) = m + \alpha * \vec{y}$$

[0059] 其次,将POI投影到竖向取向 $\vec{z}$ 以与所期望表面的表面片部相交。第三,将表示铲刀704的边缘的线段 L 投影到表面片部上。通过定义,点 s 应该已经在这个投影上。假设单位矢量 $\vec{i}$ 在线段 L 上。第四, m 沿 $\vec{y}$ 被投影到 P 上,并且投影点被表示为 m_p 。第五, s 沿 $\vec{i}$ 被投影到 P 上,其中投影点被表示为 s_p 。最后,第六,将 m_p 和 s_p 分别作为铲刀点和目标表面点添加到轨迹中。两个点的参考系将与 P 相同,这是因为它们位于同一平面上。要注意的是,铲刀704的横摆和滚动将改变 m_p 的位置,但是这种变化远小于 m 的变化,有助于系统的稳定性。

[0060] 返回参考图6的步骤604,基于车辆的状态来确定与车辆相关联的轨迹。如图5所示,由跟踪点确定块518使用车辆的状态516来确定轨迹。当机具经过地形的表面时,通过向其添加点来形成轨迹。轨迹的前端(起点)是表示机具的位置的点,并且轨迹的尾部(终点)向后延伸至距前端预定的距离。每个点可以位于与车辆相关联的任何位置。例如,每个点可以位于基于车身的位置和/或机具的位置而确定的位置。

[0061] 在一个实施方式中,轨迹的每个点是基于其对引出关于地面形状的信息的适用性来确定的。例如,如果将轨迹的点作为机具的尖端,则必须假设机具始终与地形的表面接触,但这可能并不总是正确的。如果机具拉高,则机具将失去与地形的表面的接触并且导致虚假的隆起部和沟部。在另一实施方式中,轨迹的每个点是基于车身上的虚拟点来确定的。这样的虚拟点位于铲刀尖部下方,该铲刀尖部更远离车辆的物理车身。如果车身足够长,则虚拟点可以被认为机具的尖端向下到车身的竖向投影。在另一实施方式中,轨迹的每个点是表示地形的表面的点而不是铲刀尖端的点,当车身仅上下俯仰时,这可能是不错的选择。在另一实施方式中,轨迹的每个点可以通过将机具尖端的竖向高度与车身上的虚拟点进行比较并且对具有最低竖向高度的点进行选择来确定。在机具与地形的表面失去接触的情况下,轨迹仍然是对地形的表面所在位置的合理估计。在另一实施方式中,轨迹的每个点可以基于机具穿透目标表面的量来被确定为代表地形的表面。如果机器离目标表面足够近,或者换句话说,地形的实际表面几乎等于所期望表面,这将是不错的选择。然而,出于计算目的,必须向该点添加小的颤振。否则,该点的梯度将是常数值,并且在拐点处不为零。

[0062] 在一个实施方式中,轨迹以易失模式被创建。在易失模式下,在没有任何限制的情况下点被添加到轨迹中。因此,随着时间的推移(无论车辆是否在移动),点被估计和添加。根据系统的速率,例如,点可能大约每10毫秒添加一次。因此,这些点在时间上始终相隔10毫秒。但是,如果车辆是静止的,则这些点将形成以添加点的平均值为中心的云。云的宽度由系统中的滤波器的集合的方差来确定。然而,轨迹具有最大容量。一旦超过最大容量,添

加在轨迹的末端处的最旧点将被去除,以便为新点腾出空间。如果车辆开始移动,随着时间的推移,点云会形成路线(称为轨迹历史)。根据车辆移动的速度情况,新点将基于车辆的速度而间隔开。例如,如果车辆以每秒1米的速度行驶,其中速率为 $10\text{ms}=0.01$ 秒,则在一秒钟内,大约100个点将被添加到彼此间隔10mm的轨迹中。因此,轨迹将是根据车辆速度的可变长度。在另一实施方式中,轨迹以保留模式被创建。在保留模式下,轨迹具有预定义的最大长度。一旦达到预定义的最大长度,随着点被添加到前面的轨迹,点从尾部的轨迹中除去以保持预定义的最大长度。根据预定义的间隔距离将点添加到间隔开的轨迹。对于易失模式和保留模式两者,可以在易失模式和保留模式两者的两个连续点之间限定时间延迟限制。如果两个连续点之间的延迟超过时间延迟限制,轨迹将被重置。

[0063] 在步骤606,基于所确定的与车辆相关联的轨迹来对地形的轮廓进行估计。与车辆相关联的轨迹粗略地近似于地形的轮廓,然而该轨迹是车辆车身俯仰行为的非常粗略的指示。例如,轨迹在下述情况下可能不是地形的轮廓的准确表示:车辆遇到狭窄的沟部的情况下;机具不与地形接触的情况下;或者机具存在振动的情况下。因此,地形的轮廓是通过模拟车辆在地形上行驶时车身的俯仰来估计的(如通过轨迹所近似的)。与车辆的轨迹相比,车身的俯仰提供了更准确的地形的轮廓。如图5所示,由车身状态预测(模拟)块520使用轨迹通过模拟车身的俯仰来预测地形的轮廓。

[0064] 在一个实施方式中,当车辆行驶在地形上时,使用刚体方法来模拟车身的运动以确定车身的俯仰。在刚体方法中,车辆被建模为具有质量和质量转动惯量(其随着铰接几何形状的变化而变化)的刚体。车辆的各种子系统可以在车辆的刚体模型中被建模,诸如,例如车身、机具、履带以及车轮。在一些实施方式中,在车辆的刚体模型中建模的子系统还可以包括悬架系统、履带板或车辆的任何其他子系统。为了简化建模,对履带与地形之间的相互作用进行建模,而不考虑履带前后弯曲且不与地形相互作用的部分。

[0065] 图8示出了根据一个或多个实施方式的车辆802的刚体模型的示意图800。车辆802包括车身804、机具806以及履带812,并且具有质心810。履带812由橡胶制成,并且因此可以被建模为弹性介质,这些履带812只能由于与地形808的相互作用而产生应变。为简单起见,车辆804的负重车轮未被建模。如图8所示,履带812被建模为橡皮带,在履带812接触地形808的位置处使用橡皮带的上边界与下边界之间的虚构弹簧-阻尼器对814。弹簧-阻尼器对814各自包括弹簧 k 和阻尼器 b 。履带812可以使用任意数目的弹簧-阻尼器对814来建模。用于对履带812进行建模的弹簧-阻尼器对814的数目越多,模型将越准确。弹簧-阻尼器对814在来自地形808(在履带812接触地形808的位置处)和车身804的力作用下产生应力。反过来,弹簧-阻尼器对814对车身804施加力,导致围绕质心810的线性力和旋转扭矩。这些合力和扭矩产生线性加速度和角加速度,该线性加速度和角加速度可以使用牛顿力学公式来计算,以计算车辆802的弹跳和俯仰动力学。线性加速度和角加速度的积分导致车辆802的竖向速度和俯仰角速度。由于车辆802的速度是已知的,所以不需要对地形808的牵引力进行建模,这将需要固体剪应力和变形的知识。履带812的部分可能失去与地形808的接触,以及因此代表履带812的那些部分的弹簧-阻尼器对814将产生零竖向力。在一些实施方式中,机具806与地形808之间的相互作用也可以被建模以提供更准确和真实的结果。

[0066] 一个挑战是分别确定弹簧-阻尼器对814中的弹簧 k 的刚度和阻尼器 b 的阻尼参数。弹簧 k 是对橡胶履带812的弹性行为和地形808的压力-下沉行为进行建模的非线性弹簧。根

据Bekker方程,压力-下沉关系由下式给出:

$$[0067] \quad p = \left(\frac{k_c}{b} + k_\phi \right) y^n$$

[0068] 其中,p是压力,y是下沉量,b是地形808的接触区域的半径,以及 $\frac{k_c}{b}$ 、 k_ϕ 和n是地形808的经验常数参数。计算的下沉y表示由地形808产生的力(并且被应用于弹簧k)。y的指数可能会使弹簧k非线性。

[0069] 返回到图6,在步骤608,基于所估计的地形的轮廓对地形中的沟部进行检测并且基于所估计的地形的轮廓来对用于调节机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿。如图5所示,沟部检测算法块522确定与地形的轮廓相关联的形状轮廓(限定在地形中检测到的沟部的补偿值)。

[0070] 地形的轮廓包括多个点。通过对所估计的地形的轮廓中的当前点进行分析,首先对地形中的沟部进行检测。在所估计的地形的轮廓中的当前点是距所估计的地形的轮廓的前方预定距离处的点。当车辆行驶在地形上时,附加点被添加到所估计的地形的轮廓中,向前推进当前点。所估计的地形的轮廓中的每个点都与表示地形的形状特征的形状轮廓相关联。基于对当前点的分析,可以对与当前点(以及可能的其他点)相关联的形状轮廓进行更新以限定形状特征。

[0071] 图9示出了根据一个或更多个实施方式图示在所估计的地形的轮廓中检测到沟部的曲线图900。在曲线图900中,信号902表示所估计的地形的轮廓 $b_z(x)$ 。通过对所估计的轮廓 $b_z(x)$ 中的当前点进行分析来执行的沟部的检测。为了检测沟部,首先计算并平滑所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ (一阶导数)。所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 在曲线图900中被示出为信号904。然后计算并平滑所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的第二梯度 $\nabla_x^2 b_z(x)$ 。所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的第二梯度 $\nabla_x^2 b_z(x)$ 在曲线图900中被示出为信号906。然后确定所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的当前点的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 是否为过零(zero crossing)。如曲线图900所示,点908和点910的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 为过零。如果所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的当前点的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 不是过零,则当前点不是地形中的沟部或隆起部,并且丢弃当前点。如果所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的当前点的梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 为过零,则通过将当前点处的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的幅度与梯度 $\nabla_x b_z(x)$ 为过零的最近点处的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的幅度进行比较,确定所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的当前点是否为地形中的沟部或隆起部。例如,将点908的幅度与点910的幅度进行比较以确定点908是沟部。沟部是所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的具有负Z值的第二梯度 $\nabla_x^2 b_z(x)$ 的两个连续过零之间的区域。隆起部是所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的具有正Z值的第二梯度 $\nabla_x^2 b_z(x)$ 的两个连续过零之间的区域。

[0072] 然后基于所估计的地形的轮廓来对用于调节机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的沟部进行补偿。具体地,如果检测到当前点是沟部,则将所估计的轮廓 $b_z(x)$ 遍历回到被确定为隆起部的最近点(如果被确定为隆起部的最近点不存在,则遍历到所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的末尾)。在当前点处和被确定为隆起部的最近点处的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的差分幅度被计算,并且被用于对与当前点和最近点之间的点相关联的轮廓进行更新。在一个实施方式中,可以基于所估计的地形的轮廓来对用于调节机具的高度的补偿值进行确定以对检测到的隆起部进行补偿。如果检测到当前点是隆起部,则将所估计的轮廓 $b_z(x)$ 遍历回到

被确定为沟部的最近点(如果被确定为沟部的最近点不存在,则遍历到所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的末尾)。在当前点处和被确定为沟部的最近点处的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 的差分幅度被计算,并且被用于对与当前点和最近点之间的点相关联的轮廓进行更新。

[0073] 与更新的轮廓相关联的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 中的每个点都被标识为正在调节。未调节的点出现在车辆的车身行驶太快或沟部太宽的地方。在这些情况下,机具的高度由用户限定。

[0074] 与被检测为沟部的所估计的轮廓 $b_z(x)$ 中的点相关联的形状轮廓(即,在当前点与被确定为隆起部的最近点之间的点范围)可以通过选择地形的形状特征被更新。形状特征可以表示任何合适的形状。图10示出了根据一个或更多个实施方式的用于补偿地形1010的轮廓的各种形状特征的视图1000。地形1010的轮廓包括许多沟部。可以选择各种形状特征1002至1008以补偿地形1010的轮廓中的这样的沟部。如视图1000所示,形状特征可包括阶梯形状特征1002、对数形状特征1004、二次形状特征1006以及斜坡特征1008。根据各种不同的幅度在曲线图1000中示出形状特征1002至1008,以补偿地形1010的轮廓中的沟部。也可以设想其他形状特征,诸如,例如,指数形状特征、连接两个或多个形状特征的复杂形状特征等。在应用形状特征1002至1008之后,地形1010的轮廓将看起来基本上平坦。

[0075] 点的范围内的每个点的补偿值是通过将形状特征与微分幅度进行结合来确定的。在一个实施方式中,形状特征可以具有范围从0到1的高度并且可以覆盖点的范围。每个点的补偿值可以是通过将形状特征的高度乘以微分幅度来确定的。

[0076] 图11示出了根据一个或更多个实施方式的描述沟部的补偿的曲线图1100。车辆1102包括车身1104和机具1106。车身1104具有质心1108并且机具1106具有尖端1110。当车辆1102在地形的表面之上行驶时,创建表示所估计的地形的表面的轮廓的轨迹1112。信号1114示出了车辆1102在地形的表面之上行驶时的真实车身俯仰。将包括各种形状特征的校正轮廓1116进行应用以对在轨迹1112中检测到的沟部进行补偿。

[0077] 返回到图6,在步骤610,将一个或更多个控制信号传输到一个或更多个致动器以基于所确定的补偿值来对机具的高度进行调节。在一个示例中,致动器可以是图1中的致动器118。致动器可以是液压缸或驱动器或任何其他合适的致动器。在图5中,低级控制器526使用具有相关联的形状轮廓的地形的轮廓用于将一个或更多个控制信号传输到推土机502的液压系统530。控制信号包括用于调节机具的高度的指令,从而实现目标地形表面,同时还对地形中的沟部和其他干扰进行补偿。在一个实施方式中,用于实现目标地形表面的初始误差值与补偿值进行组合(例如,相加)来生成最终误差值。生成控制信号以包括用于根据最终误差值来调节机具的高度的指令。

[0078] 在一些实施方式中,执行方法600的简单控制器(例如,PID控制器)可能由于致动器延迟而执行不佳。预测控制器(例如,史密斯预测器、MPC)和其他更复杂的控制器能够以适当的方式来执行方法600,但需要对行为车辆进行数学建模。根据一个实施方式,可以对车辆进行数学建模。在图5中,车辆由铲刀状态预测器块528进行数学建模。

[0079] 图12示出了根据一个或更多个实施方式的车辆的示例性示意图1200。如图12所示,车辆1202包括被定位在 (x_1, y_1) 处的、具有质心1206的车身1204。车身1204的质心1206以速度 v_1 在地形的表面1208(被表示为车身轨迹)之上行进。车身1204以角速率 ω_1 围绕质心1206俯仰,从而产生车身俯仰 θ_1 。杆件1210从车身1204延伸并且经由枢轴1212链接到动臂

1214。动臂1214以角速率 ω_2 围绕枢轴1212俯仰,从而产生车身俯仰 θ_2 。动臂1214的端点1216被配置成联接到铲刀。端点1216具有位置 (x_2, y_2) 。铲刀对于基本运动学并不重要,以及因此将假定它由点组成。

[0080] 示意图1200的运动学模型给出如下:

$$\dot{x}_1 = v_1 \cos(\theta_1)$$

[0081]

$$\dot{y}_1 = v_1 \sin(\theta_1)$$

$$x_2 = x_1 + l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

$$y_2 = y_1 + l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\dot{x}_2 = \dot{x}_1 - l_1 \omega_1 \sin(\theta_1) - l_2 (\omega_1 + \omega_2) \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + l_1 \omega_1 \cos(\theta_1) + l_2 (\omega_1 + \omega_2) \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

[0084]

$$\dot{x}_2 = v_1 \cos(\theta_1) - l_1 \omega_1 \sin(\theta_1) - l_2 (\omega_1 + \omega_2) \sin(\theta_1 + \theta_2)$$

$$\dot{y}_2 = v_1 \sin(\theta_1) + l_1 \omega_1 \cos(\theta_1) + l_2 (\omega_1 + \omega_2) \cos(\theta_1 + \theta_2)$$

[0085] 示意图1200的状态空间模型给出如下:

$$\dot{x}_1 = v_1 \cos(x_3) - l_1 \omega_1 \sin(x_3) - l_2 (\omega_1 + \omega_2) \sin(x_3 + x_4)$$

[0086]

$$\dot{x}_2 = v_1 \sin(x_3) + l_1 \omega_1 \cos(x_3) + l_2 (\omega_1 + \omega_2) \cos(x_3 + x_4)$$

[0087] 其中,状态为 $\vec{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4)^T = (x_2, y_2, \theta_1, \theta_2)^T$,输入为 $\vec{u} = (v_1, \omega_1, \omega_2)^T$,参考输入为 $\vec{u}_d = (v_1, \omega_1, 0)^T$,以及 $x_d = x_2 = y_2 = 0$ 给出了参考轨迹。

[0088] ω_1 是唯一的控制变量。然而, ω_1 的控制不是直接的,而是致动器的输出。在一个实施方式中,致动器模型可以被识别为具有带时间延迟的一阶或二阶滞后阶跃响应。这样的模型也可以在状态空间中表达,并与车身和机具的微分运动学模型一起形成系统的完整模型。

[0089] 现在将得到典型推土机(包括CTL)的线性状态空间模型。该模型是基于车辆的运动学结构。车辆将被建模为包括经由1个自由度接合件彼此连接(并相对移动)的刚性连杆。连杆可以具有任意形状,并且通过其相对于参考系的位置和取向来表征该连杆。每个连杆均附有坐标参考系。根据接合件的类型,每个接合件均附有单位向量,该单位向量指示沿它或围绕它的运动。机器的传感器位置和其他重要点被认为是某些连杆的一部分。这些点是相对于它们所附接的连杆表示的。连杆和接合件一起形成开放(或封闭)链或树。这样的刚体模型可能非常详细,但这里只讨论足够详细的模型。

[0090] 线性状态空间模型将依次具有以下连杆和接合件:

[0091] (1) 车辆的车身是链中的第一连杆。IMU和两个GPS天线刚性地附接在车身上面。车身与地面接触,并且车身的位置和取向是通过与土壤的复杂相互作用确定的。这样的连杆称为可移动的,并且该连杆的运动不是由接合件的运动确定的(至少不是直接的)。

[0092] (2) 动臂(推杆)连杆经由枢轴接合件附接到车身。该连杆的运动受枢轴接合件的约束。可以在该连杆上安装IMU。这是改变铲刀的升降的主要机制。

[0093] (3) 铲刀通过球形接合件(称为铲刀旋转中心)附接到动臂。该接合件被建模为包

括占据相同位置的三个自由度为1的接合件。连接三个(虚拟)接合件的前两个连杆被建模为具有零长度(因此,它们只是虚构的连杆)。第三连杆是铲刀本身。多个传感器可以附接到铲刀上,所述多个传感器包括例如IMU、一个或两个GPS天线、声波传感器等。此外,铲刀连杆上最重要的实体是中间点及其坐标参考系。铲刀可以围绕旋转中心进行横摆、俯仰和滚动运动。

[0094] 拟议系统中的运动学-动力学模块具有以下职责:

[0095] (1) 车身动力学:使用履带-土壤相互作用的动态模型确定车身连杆的位置、取向、线速度以及角速度。请注意,该信息已由观察器模块使用GPS和车身上的惯性传感器进行估计。该模型被用于预测。

[0096] (2) 铲刀逆向运动学:给定车身的位置、取向和角速率、以及铲刀的取向和角速率,确定将车身连接到铲刀的所有接合件的值和速率。

[0097] (3) 铲刀正向运动学:给定车身的位置、取向、线速度和角速度、以及接合件值和速率,确定铲刀位置、线速度和加速度。

[0098] (4) 铲刀动力学:与车身动力学一起,使用阀缸的致动器模型模拟(预测)铲刀运动,这些阀缸使铲刀相对于车身运动。

[0099] 形式上, $p_{Blade}^{Nav}(x, y, z)$ 表示导航参考系中表达的铲刀连杆上的参考点(0,0,0)的位置。在铲刀自身的参考系中表达的同一点将由 $p_{Blade}^{Blade}(x, y, z)$ 表示或简称为 $p_{Blade}(x, y, z)$ 。铲刀上的其他点是相对于此点的,诸如铲刀中点 $m(x, y, z)$ 。对于 p_{Blade} 的一个选择是 m 自身。 R_{Blade}^{Nav} 表示铲刀参考系在导航参考系中的旋转矩阵。 R_{Blade}^{Body} 表示从车身参考系到铲刀参考系的旋转矩阵。 R_{Blade}^{Nav} 表示从铲刀到导航参考系的旋转矩阵。 $p_{Body}^{Nav}(x, y, z)$ 表示车身上的任意点,但通常取为质心。 R_{Body}^{Nav} 表示从车身到导航参考系的旋转矩阵。

[0100] 如上所述,运动学结构具有由4个接合件连接的5个连杆。所有接合件都是旋转的。接合件角度被表示为 $\Theta(t) = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5)$ 。每个接合件的说明如下:

[0101] (1) $\theta_1(t)$ 是动臂相对于初始参考的角度(即,俯仰)(通常是当铲刀边缘停留在平坦表面上时铲刀与车身所在的平坦表面所成的角度)。这种俯仰发生在车身参考系的 $\hat{y}$ 方向周围。

[0102] (2) $\theta_2(t)$ 是铲刀围绕垂直于动臂的矢量的旋转(即,横摆)。

[0103] (3) $\theta_3(t)$ 是铲刀围绕横摆铲刀的前进方向($\hat{x}$)的倾斜(即,滚动)。

[0104] (4) $\theta_4(t)$ 是围绕横摆和滚动的铲刀的 $\hat{y}$ 方向的附加俯仰。

[0105] 需要注意的是,由于机器的实际机制, $\theta_2(t)$ 、 $\theta_3(t)$ 和 $\theta_4(t)$ 并不是彼此独立的。如果 $\theta_2(t)$ 改变,则 $\theta_3(t)$ 也将改变,并且对于 $\theta_4(t)$,也是如此。 $\theta_3(t)$ 的改变可以通过使铲刀倾斜来补偿,但是 $\theta_4(t)$ 是车辆的特性,并且不能用致动器操纵。

[0106] $\Theta(t)$ 是机器的接合件空间的元素。 $m_{Body}^{Body}(x, y, z)$ (车身参考系中的铲刀中点)的每个值对应于唯一的 $\Theta(t)$ (一般情况下不真实,但在我们的特殊运动学结构中真实)。这两个通过以下公式是相关的

$$p_{Blade}^{Body}(x(t), y(t), z(t)) = K_p(\Theta(t))$$

[0108] 其中 $K_p(\Theta(t))$ 是运动学映射。该映射可以使用机器人算法构建。简而言之,它涉及为每个连杆-接合件构建特殊的 4×4 矩阵(齐次变换) $A_i(\theta_i)$,将它们相乘,以及然后提取位置部分:

$$[0109] \quad K_p(\Theta) = K(\Theta) * (0001)^T$$

[0110] 其中

$$[0111] \quad K(\Theta) = A_1(\theta_1) * A_2(\theta_2) * A_3(\theta_3) * A_4(\theta_4) * A_5(\theta_5)$$

[0112] 是齐次运动学矩阵,使得

$$[0113] \quad R_{Blade}^{Body} = K_R(\Theta) = K(\Theta) * \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 1} \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix}。$$

[0114] 另外,

$$[0115] \quad \dot{p}_{Blade}^{Body}(x, y, z) = J_p(\Theta(t)) * \dot{\Theta}(t)$$

[0116] 其中, $J_p(\Theta(t)) = \partial K_p(\Theta) / \partial \Theta$ 是雅可比矩阵,并且 $\dot{\Theta}(t)$ 是接合件值的改变率。更普遍,

$$[0117] \quad \begin{bmatrix} v_{Blade}^{Body} \\ \omega_{Blade}^{Body} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_p(\Theta) \\ J_R(\Theta) \end{bmatrix} * \dot{\Theta}。$$

[0118] 正向运动学模型现在可以被表示为

$$[0119] \quad \begin{bmatrix} p_{Blade}^{Nav} \\ \dot{p}_{Blade}^{Nav} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{Body}^{Nav} + R_{Body}^{Nav} * K(\Theta) \\ \dot{p}_{Body}^{Nav} + R_{Body}^{Nav} * (K(\Theta) \times \omega_{Body}) + J(\Theta) * \dot{\Theta} \end{bmatrix}$$

[0120] 其中 ω_{Body} 是车身围绕其轴转动的角速率。

[0121] 对于铲刀逆向运动学,需要在给定 R_{Blade}^{Nav} 和 R_{Body}^{Nav} 的情况下找到 $\Theta(t)$ 。这些矩阵由观察器模块独立地估计。为此,需要注意的是,推土铲刀机构可以通过构造为Tait-Bryan角序列Y1-Z2-X3的旋转矩阵来建模:

$$[0122] \quad R = R_{Blade}^{Body} = R_{Body}^{Nav}^{-1} * R_{Blade}^{Nav} = R_y(\theta_1) * R_{z'}(\theta_2) * R_{x''}(\theta_3)$$

[0123] 当展开后,其变成:

$$[0124] \quad \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) * \cos(\theta_2) & \sin(\theta_1) * \sin(\theta_3) - \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) * \sin(\theta_2) & \cos(\theta_3) * \sin(\theta_1) + \cos(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) * \cos(\theta_3) & -\cos(\theta_2) * \sin(\theta_3) \\ -\cos(\theta_2) * \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) * \sin(\theta_3) + \cos(\theta_3) * \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) & \cos(\theta_1) * \cos(\theta_3) - \sin(\theta_1) * \sin(\theta_2) * \sin(\theta_3) \end{bmatrix}$$

[0125] 因此,角度很容易被计算为

$$[0126] \quad \theta_2 = \arcsin(R_{2,1})$$

$$[0127] \quad \begin{aligned} \theta_1 &= \arcsin\left(-R_{3,1} / \sqrt{1 - R_{2,1}^2}\right) \\ \theta_3 &= \arcsin\left(-R_{2,3} / \sqrt{1 - R_{2,1}^2}\right)。 \end{aligned}$$

[0128] 该方法对校准阶段进行补充。原因是如果铲刀滚动,计算出的动臂俯仰就会出错。

因此,在对机器进行校准时,必须对由于倾斜而观察到的明显的动臂俯仰进行建模,并从这里计算的值得中减去。二次曲线足以对这种依赖性进行建模。

[0129] 如果在动臂上安装了附加的IMU,则不需要估计 θ_1 ,并且可以使用额外的IMU作为倾角仪容易地确定。另一方面, θ_4 对横摆的依赖性必须始终进行校准。同样,二次曲线可以足够准确地对这种依赖性进行建模。

[0130] 为了计算角速率,可以使用

$$[0131] \quad \dot{\theta}(t) = J_p(\theta(t))^{-1} \omega_{Blade}^{Body} = J_p(\theta(t))^{-1} (\omega_{Blade} - \omega_{Body})$$

[0132] 计算接合件速率的速率由车身、动臂以及铲刀上的各IMU进行测量。然而,当上述模型被用于预测控制时,这些速率是致动器的动态模型的输出。如果没有安装必要的传感器,则全液压模型太笨重而且不准确,这在实践中通常是这种情况。但是,可以容易地构建液压阀的动力学的简化模型。这样的模型将接收阀门命令作为输入,并且将输出伸缩的合成速度。在推土机中,不同气缸的长度变化最终会导致连杆围绕接合件进行旋转运动。因此,液压模型可以被认为是阀门命令与接合件角速率之间的映射。动臂俯仰和铲刀倾斜是唯一可控制的接合件,导致

$$[0133] \quad \omega = \dot{\theta} = T(c)$$

[0134] 其中 $T()$ 表示传递函数并且 c 是阀命令。传递函数可以被实验地识别。

[0135] 具有延迟的二阶传递函数

$$[0136] \quad \frac{\Omega(s)}{C(s)} = \frac{K}{\tau^2 s^2 + 2\tau\zeta s + 1} e^{-d_\tau s}$$

[0137] 已经被证明足以描述发送到阀门的命令与所测量的角速度之间的关系。可以使用板载IMU进行测量。

[0138] 最后,使用动态模型计算车身在车身与地面接触和相互作用时的角速度。根据本文描述的实施方式,地面指的是车身将在其上移动的地形表面的估计。该地面被表示为2D空间(轮廓)中的曲线。该地面必须具有土壤特性才能使相互作用变得真实。如前所述,可以使用实时刚体方法。假设可以使用集总模型,包括具有质量和转动惯量的车身、以及附着在履带上并沿履带分布的一系列离散弹簧-阻尼器元件。相互作用可以进一步限制到履带的底部。这里,在铲刀边缘与地面之间的相互作用没有被建模,因为这需要力传感器。还假设在负重轮与车身之间没有悬架(在坦克等机器的情况下没有那么安全的假设)。为各个元件的刚度 K 和阻尼 D 选择的参数必须满足并代表橡胶以及土壤的特性。

[0139] 对于特定的土壤类型,Bekker方程(其中 $n=1$)给出了渗透到土壤中的量与所产生的力之间的关系。但这正是线性弹簧的限定。土壤的表格参数可以被用于计算弹簧的刚度系数的估计值。添加阻尼以补充模型。阻尼的值通过实验进行估计。

[0140] 鉴于问题已简化为2D问题,假设行进沿 x 发生并且点的坐标为 (x, z) 。用 $z_c(t)$ 表示车身的质心的高度。 M 和 I 分别表示车身的质量和转动惯量。通常,如果机具相对于车身的位置变化很大,则转动惯量可以是可变的。

[0141] 原则上,前进速度可以通过对履带与地面之间的牵引力进行建模来找到,但在这种情况下,它在预测开始时已知(观察到)并且可以被认为在预测地平线期间保持不变。因

此,

$$[0142] \quad \dot{x}_c(t) = v$$

[0143] 车身的弹跳动力学方程可以被表示为

$$[0144] \quad \ddot{z}_c(t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N f_i(t)$$

[0145] 其中

$$[0146] \quad f_i(t) = K \left(z_i(t) - g_i(x(t)) \right) - D \left(\dot{z}_i(t) - \dot{g}_i(x(t)) \right)$$

$$[0147] \quad z_i(t) = z_c(t) - l_i (\cos(\phi_i) \sin(\theta(t)) + \sin(\phi_i) \cos(\theta(t)))$$

$$\dot{z}_i(t) = \dot{z}_c(t) - l_i \left(\cos(\phi_i) \cos(\theta(t)) + \sin(\phi_i) \sin(\theta(t)) \right) \dot{\theta}(t)$$

$$[0148] \quad \dot{g}_i(x) = \frac{\partial}{\partial x} g_i(x) \dot{x}_c$$

[0149] 并且其中, $\theta(t)$ 是车身的俯仰。

[0150] 类似地, 对于俯仰动态, 具有:

$$[0151] \quad \ddot{\theta}(t) = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^N \tau_i(t)$$

[0152] 其中

$$[0153] \quad \tau_i(t) = l_i f_i \cos(\phi_i) \cos(\theta)$$

[0154] 在一个实施方式中, 可以对根据方法600的控制系统的性能进行评估。为了对控制系统进行评估, 将预测的车身俯仰(在步骤606确定)与车身经过机具所在点后的实际车身俯仰相关联。在图5中, 与车身相关联块524将预测的车身俯仰与实际车身俯仰相关联。该评估可以被用于调节补偿有效性的置信度。可以将评估输出到用于自动调节行为和参数的监督控制箱或者可以将评估输出到用于手动调节行为和参数的用户。感兴趣的两个相关性: 1) 车身与车身的相关性和2) 车身与机具的相关性。

[0155] 车身与车身的相关性衡量履带与地形之间的相互作用的可预测性。为了计算车身与车身的相关性, 将车身俯仰与距离车身的质心一定距离的虚拟车身点的Z分量进行比较。该一定距离为与在车身的质心点和机具的边缘点之间的距离相同的距离。如果虚拟点的高度对应于(相关)车身的质心点的高度(代表车身的俯仰模式), 则当车身到达虚拟点的位置时, 车身将表现出预期的可能性更高。相关性越高表示对所确定的补偿值的置信度越高。

[0156] 车身与机具的相关性衡量机具的运动可以预测车身的运动的量。这种相关性是通过将车身的俯仰与机具上某个点的Z分量进行比较来计算的。较高的车身与机具的相关性表示机具的振荡行为。因此, 控制系统应该减少车身与机具的相关性。

[0157] 在一个示例中, 车辆行驶在完美的正弦地形上。图13示出了根据一个或更多个实施方式的当车辆行驶在正弦地形之上时车辆的车身与车身的相关性以及车身与机具的相关性的曲线图1300。信号1302代表车身的俯仰, 该信号1302由于正弦地形而是正弦的。信号1306表示根据本文所述的实施方式确定的机具的高度的校正。校正被应用为阶梯形状特征。信号1304表示根据校正调节的机具的位置。如曲线图1300所示, 机具的位置(信号1304)相当好地跟踪校正(信号1306)。因此, 车身与车身的相关性(信号1310)高, 而车身与机具的

相关性(信号1308)低,这表明良好的性能。对于性能良好的系统,机具与车身的俯仰完全不同步。

[0158] 相关性的缺乏置信度可以被计算如下

$$[0159] \quad \sigma(t) = \frac{\sigma_{soil} \cdot \sigma_{bb}}{\sigma_{bu}}$$

[0160] 其中 σ_{ub} 和 σ_{bb} 分别表示车体与车体的相关性以及车体与机具的相关性,以及 σ_{soil} 表示地形的软度。地形越软,车身表现出预期行为的可能性就越小。换句话说,更软的地形可能导致地形改变形状以及/或者机具的位置不代表地形的轮廓。在这种情况下,应该降低校正的强度。

[0161] 可以由任何合适的控制器执行方法600。在一个实施方式中,控制器是低级控制器。低级控制器确保机具的边缘根据目标表面而跟踪地形的表面。问题简化为平面s(x,z)(目标水平)上的一个点通过另一p(x,z)(铲刀边缘在车身矢状面上的投影)的收敛和跟踪问题。这称为推土机的升降(主落差)控制。同时,控制器也必须确保整个边缘都位于所期望的横坡上(由表面指示)。主落差和横坡误差分别被表示为 $e_{mainfall}$ 和 $e_{cross-slope}$ 。横坡控制可以被认为是与主落差控制正交的,并且横坡控制可以独立于其他控制来完成。影响这两者的致动器可以被单独地致动,但由于液压系统,它们之间存在耦合。然后,将它们耦合以实现平滑跟踪并避免设置点追逐是有益的。例如,平滑的切换(加权)机制,诸如

$$[0162] \quad K_{elevation} = Ke^{(-\lambda e_{cross-slope})}$$

[0163] 可以确保在尝试全力调节升降(动臂俯仰)之前已充分达到所期望的横坡。这里, $K_{elevation}$ 是升降控制器的增益。

[0164] 由于致动器的延迟,控制器应该能够应对设施的输出延迟。一种合适的控制器是专门调谐的PID控制器。然而,由于通过测量已知阀门模型具有足够的准确性,因此更好的解决方案是史密斯预测器类型的控制器。图14中示出了示例性史密斯预测器类型的控制器1400。史密斯预测器类型的控制器1400将升降误差转换为俯仰误差。作为替代方案,可以使用MPC(模型预测控制)控制器。上面得到的动态模型将形成MPC控制器的主干。MPC控制器使用该模型来预测整个系统在有界地平线内的未来行为。

[0165] 应该理解的是,本文描述的実施方式的范围是更一般的,并且可以容易地应用于配备有确定地形的表面的轮廓的其他装置的系统。例如,地形的表面的轮廓可以附加地或替代地使用指向地形的表面的、可安装在动臂上的光学传感器(例如,激光传感器)来确定。如果使用安装在动臂上的光学传感器,而不是如上所述确定轨迹的点,则该点可以使用基于车身位置和取向、动臂俯仰角、光学传感器在动臂上的位置、以及由光学传感器测量的距离的运动学公式来计算。

[0166] 本文所述的系统、装置以及方法可以使用数字电路系统或使用一台或更多台计算机来实现,这些计算机使用众所周知的计算机处理器、存储器单元、存储设备、计算机软件以及其他组件。通常,计算机包括用于执行指令的处理器以及用于存储指令和数据的一个或更多个存储器。计算机也可以包括一个或更多个大容量存储设备或者耦合到一个或更多个大容量存储设备,诸如一个或更多个磁盘、内部硬盘和可移动磁盘、磁光盘、光盘等。

[0167] 本文所述的系统、装置以及方法可以使用有形地包括在信息载体中(例如,在非暂

态机器可读存储设备中)的由可编程处理器执行的计算机程序产品来实现;以及本文描述的方法和工作流步骤,包括图3和图5至图6的一个或更多个步骤或功能,可以使用可由这样的处理器执行的一个或更多个计算机程序来实现。计算机程序是成组计算机程序指令,这些成组计算机程序指令可以直接地或间接地在计算机中使用以执行特定活动或产生特定结果。计算机程序可以用任何形式的编程语言(包括编译语言或解释语言)编写,并且计算机程序可以以任何形式(包括作为独立程序或作为模块、部件、子例程或其他适合在计算环境中使用的单元)部署。

[0168] 图15描绘了可以被用于实现本文所述的系统、装置以及方法的示例性计算机1502的高级框图。本文讨论的任何或所有系统和装置,包括图1的控制器120、图4的控制器400以及图14的控制器1400,可以使用诸如计算机1502等的一个或更多个计算机来实现。计算机1502包括可操作地耦合到数据存储设备1512和存储器1510的处理器1504。处理器1504通过执行限定这样的操作的计算机程序指令来对计算机1502的整体操作进行控制。计算机程序指令可以被存储在数据存储设备1512或其他计算机可读介质中,并且在期望执行计算机程序指令时被加载到存储器1510中。因此,图3和图5至图6的方法和工作流步骤或功能可以由存储在存储器1510和/或数据存储设备1512中的计算机程序指令限定并且由执行计算机程序指令的处理器1504控制。例如,计算机程序指令可以被实现为由本领域技术人员编程的计算机可执行代码,以执行图3和图5至图6的方法和工作流步骤或功能。因此,通过执行计算机程序指令,处理器1504执行图3和图5至图6的方法和工作流步骤或功能。计算机1504也可以包括一个或更多个网络接口1506,用于经由网络与其他设备进行通信。计算机1502也可以包括使用户能够与计算机1502交互的一个或更多个输入/输出设备1508(例如,显示器、键盘、鼠标、扬声器、按钮等)。

[0169] 处理器1504可以包括通用微处理器和专用微处理器两者,并且处理器1504可以是计算机1502的唯一处理器或多个处理器之一。例如,处理器1504可以包括一个或更多个中央处理单元(CPU)。处理器1504、数据存储设备1512和/或存储器1510可以包括一个或更多个专用集成电路(ASIC)和/或一个或更多个现场可编程门阵列(FPGA),由其补充或并入其中。

[0170] 数据存储设备1512和存储器1510各自包括有形的非暂态计算机可读存储介质。数据存储设备1512和存储器1510可以各自包括高速随机存取存储器,诸如动态随机存取存储器(DRAM)、静态随机存取存储器(SRAM)、双倍数据速率同步动态随机存取存储器(DDR4)、或其他随机存取固态存储器设备,并且可以包括非易失性存储器,诸如一个或更多个磁盘存储设备(诸如内部硬盘和可移动磁盘)、磁光盘存储设备、光盘存储设备、快闪存储器设备、半导体存储器设备(诸如可擦除可编程只读存储器(EPROM)、电可擦除可编程只读存储器(EEPROM)、光盘只读存储器(CD-ROM)、数字通用光盘只读存储器(DVD-ROM)磁盘)、或其他非易失性固态存储设备。

[0171] 输入/输出设备1508可以包括外围设备,诸如打印机、扫描仪、显示屏等。例如,输入/输出设备1508可以包括显示设备(诸如阴极射线管(CRT)或用于向用户显示信息的液晶显示器(LCD)监视器)、键盘以及诸如鼠标或轨迹球等的指点设备,用户可以通过它们向计算机1502提供输入。

[0172] 本领域的技术人员将认识到,实际计算机或计算机系统的实现方式可以具有其他

结构并且也可能包含其他部件,并且出于说明目的,图15是这样的计算机的某些部件的高级表示。

[0173] 前述的详细说明应该被理解为在各个方面都是说明性和示例性的,而不是限制性的,并且本文公开的本发明的范围不是根据详细说明确定的,而是根据专利法允许的全部范围解释的权利要求。应当理解的是,本文所示出和描述的实施方式仅是对本发明原理的说明,并且在不脱离本发明的范围和精神的情况下,本领域技术人员可以进行各种修改。在不脱离本发明的范围和精神的情况下,本领域技术人员可以实现各种其他特征组合。

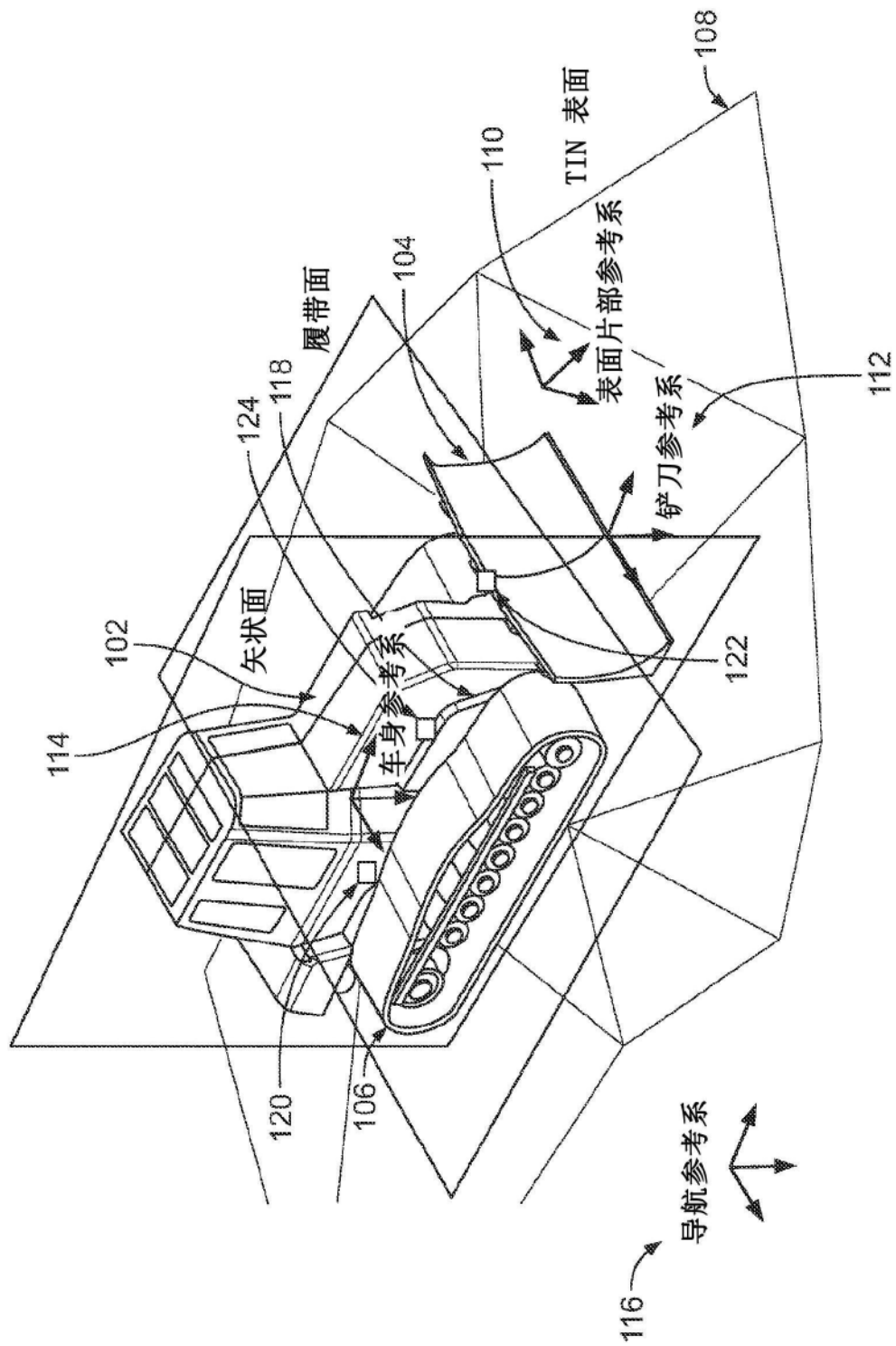


图1

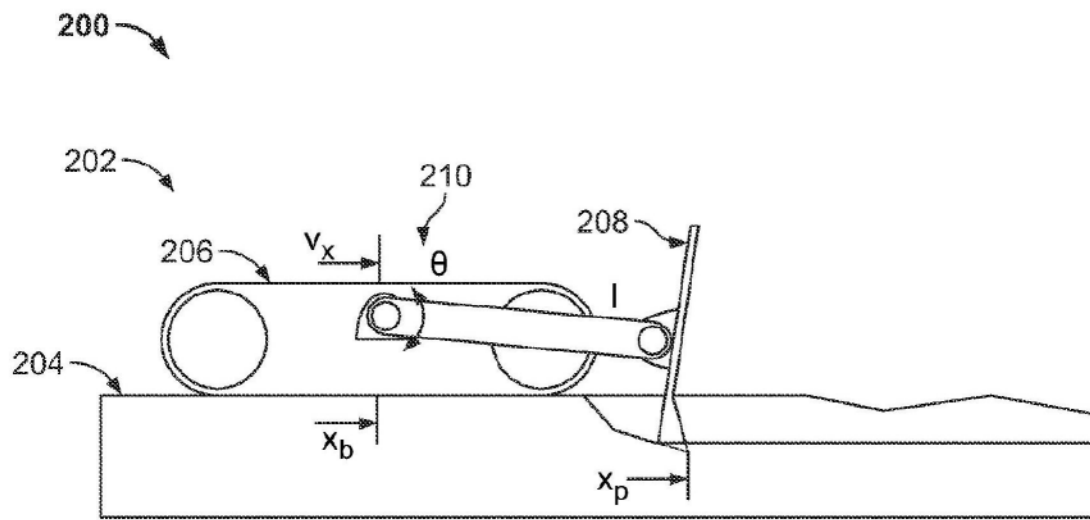


图2

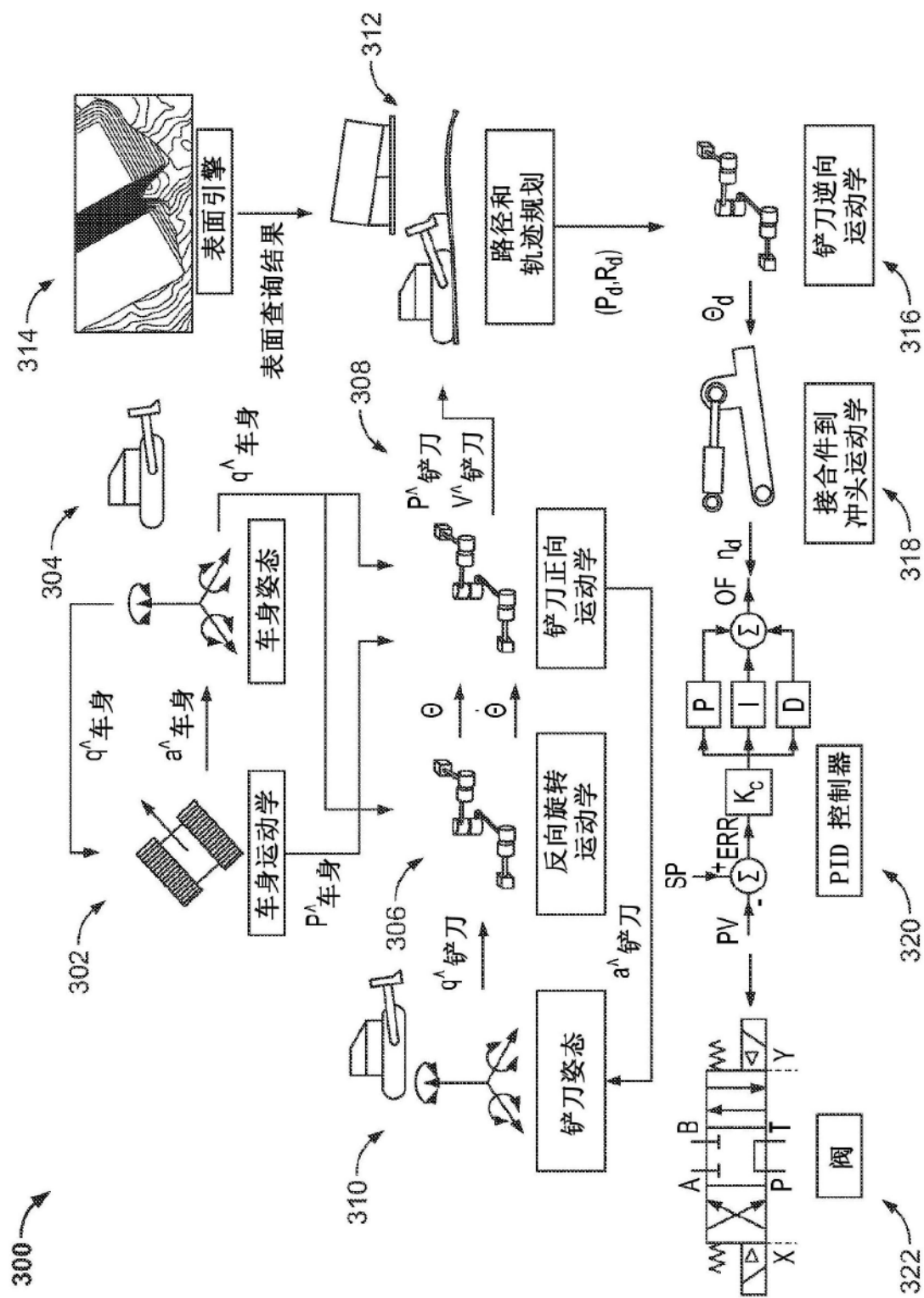


图3

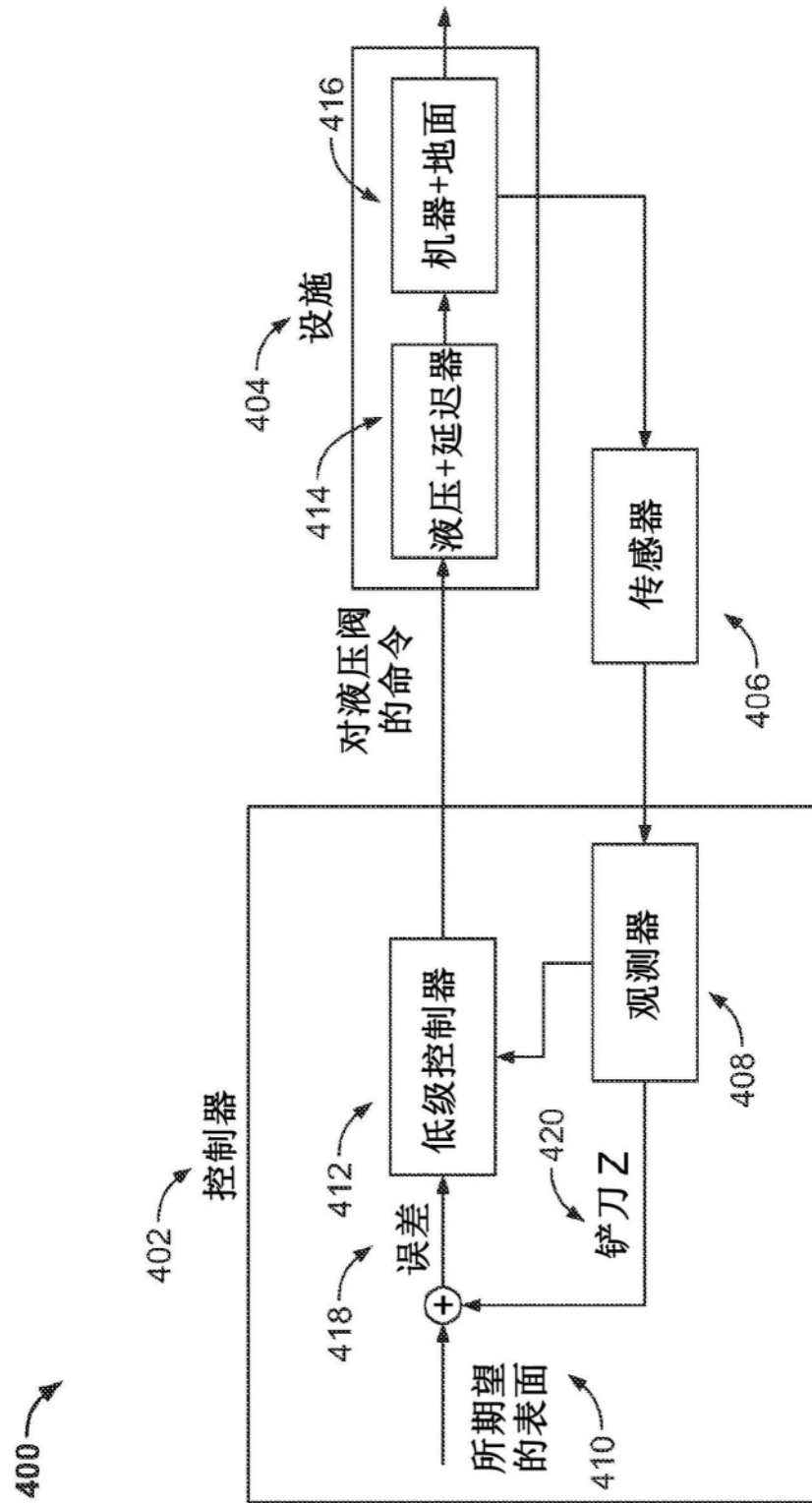


图4

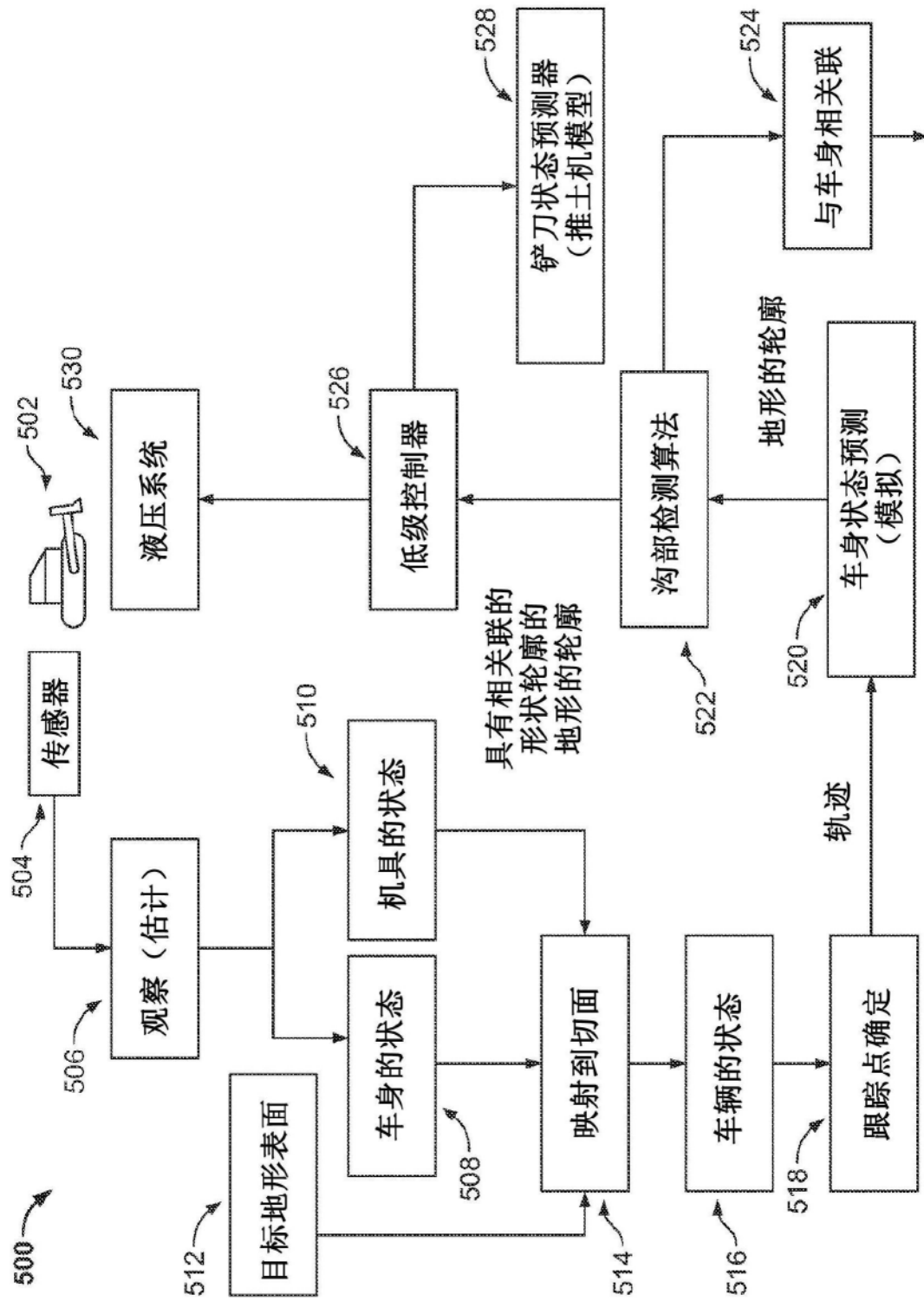


图5

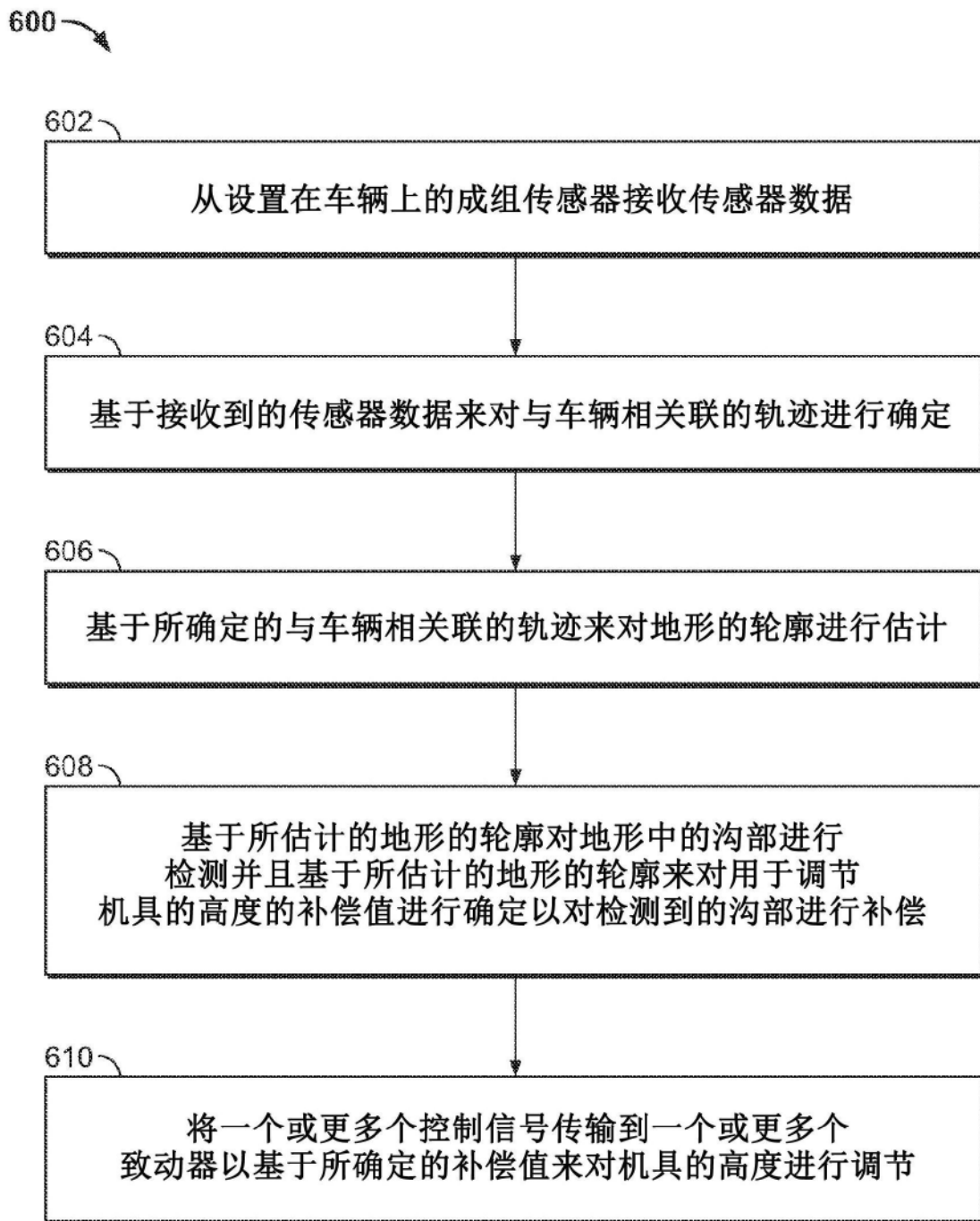


图6

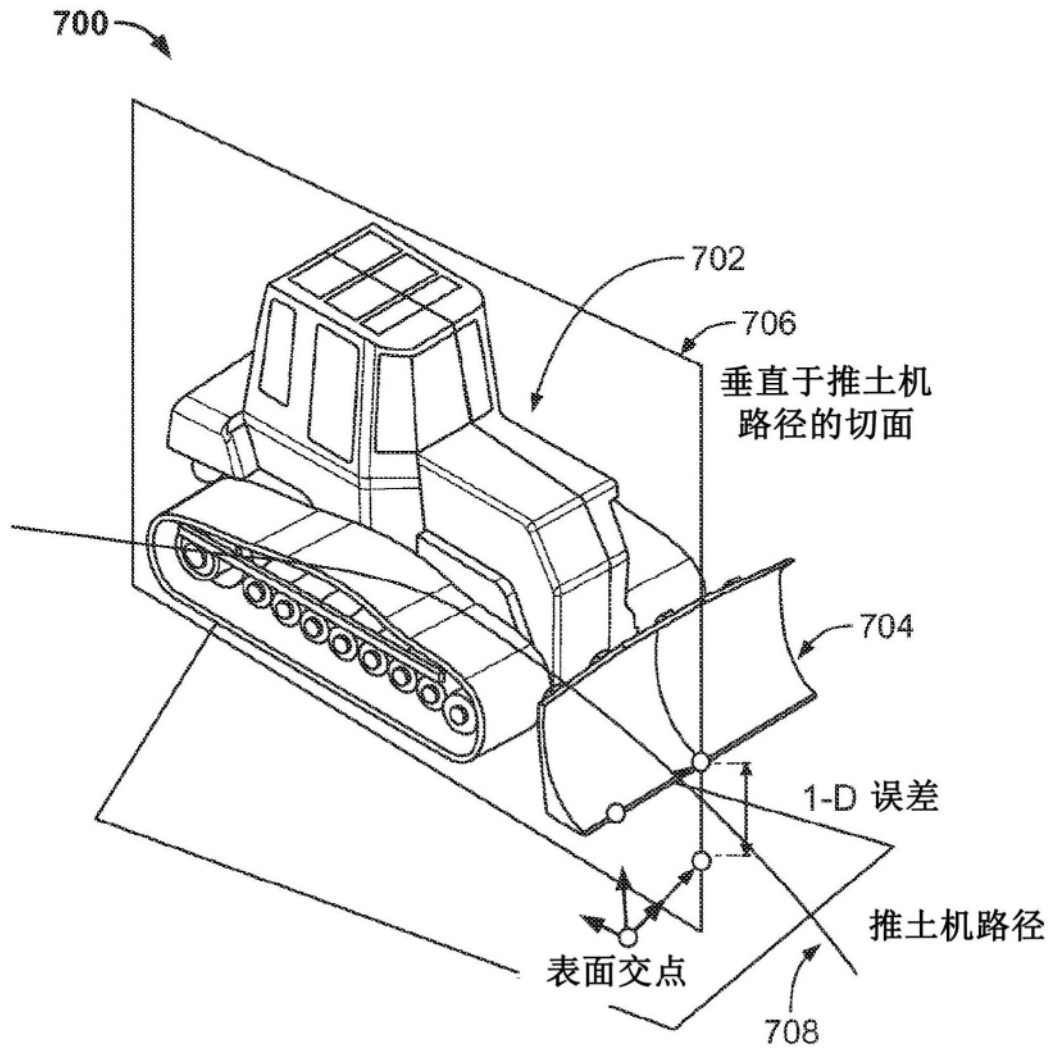


图7

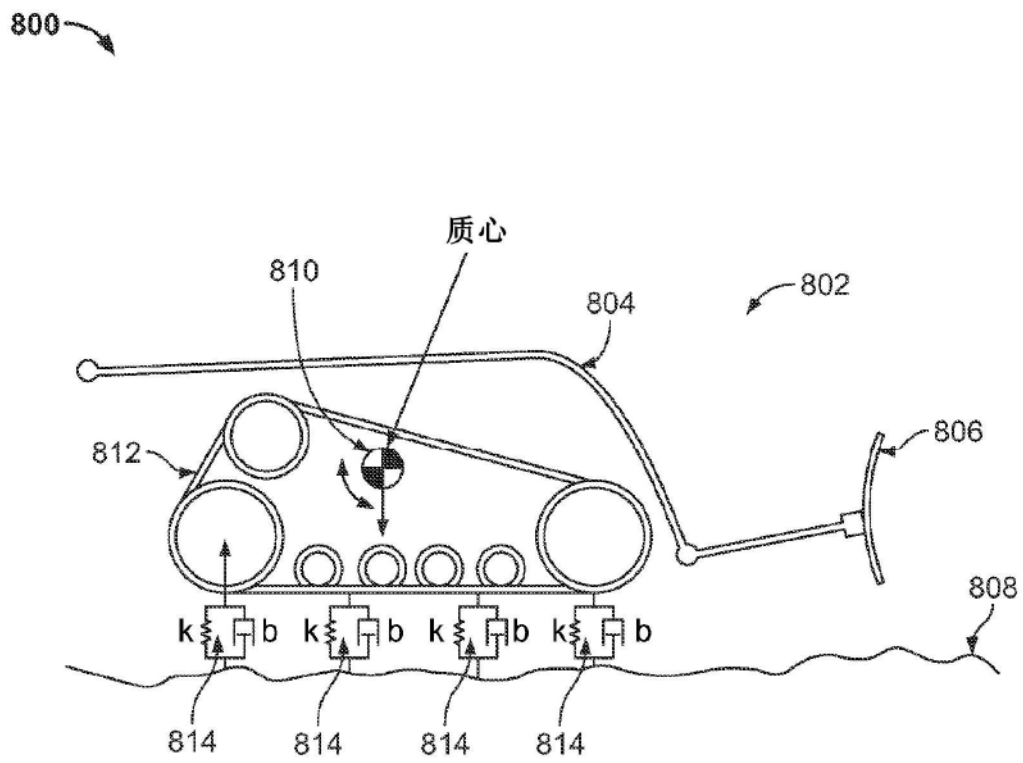


图8

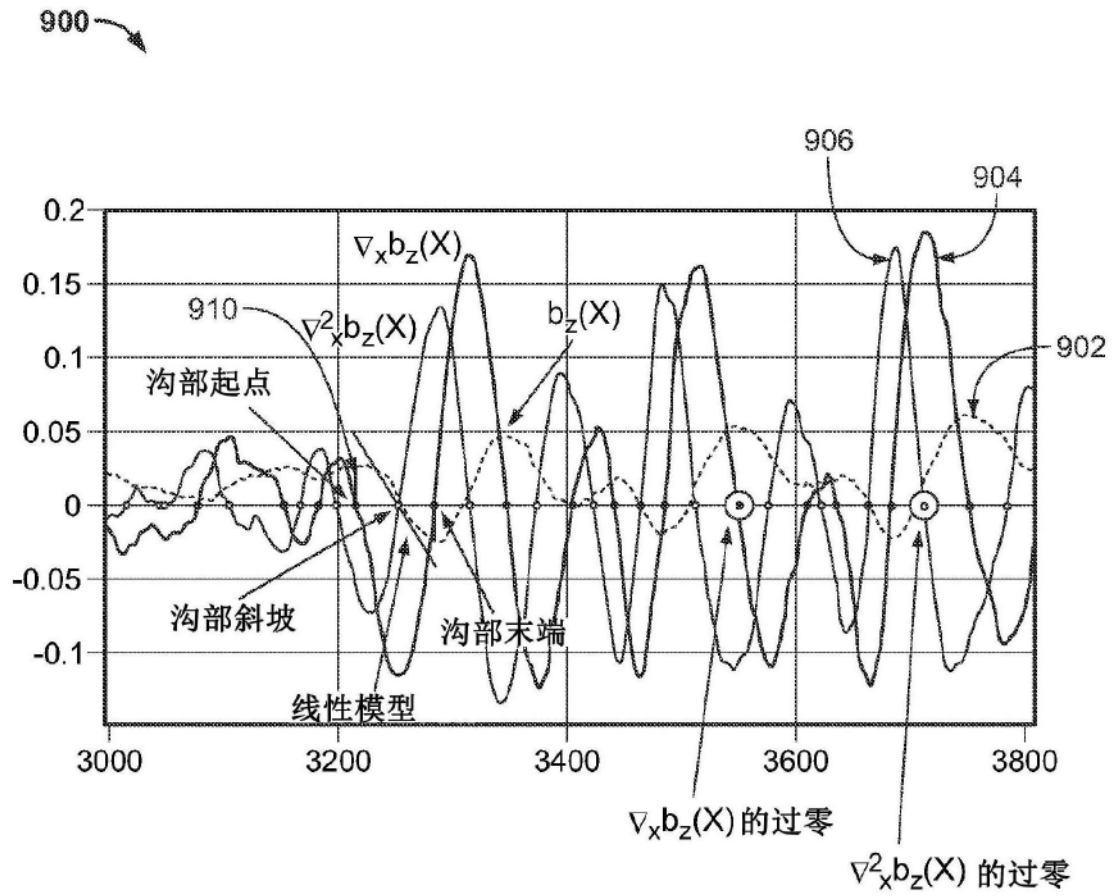


图9

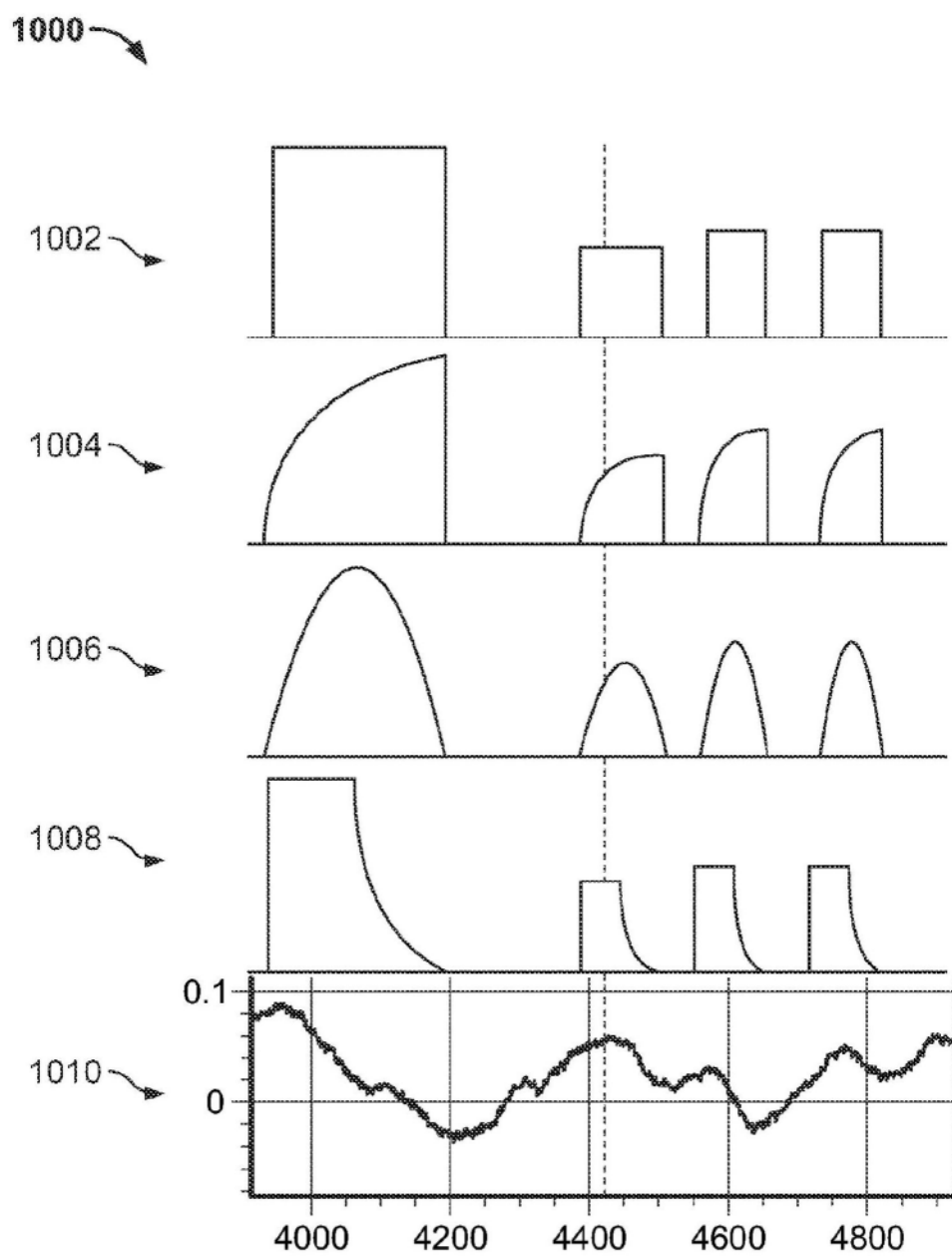


图10

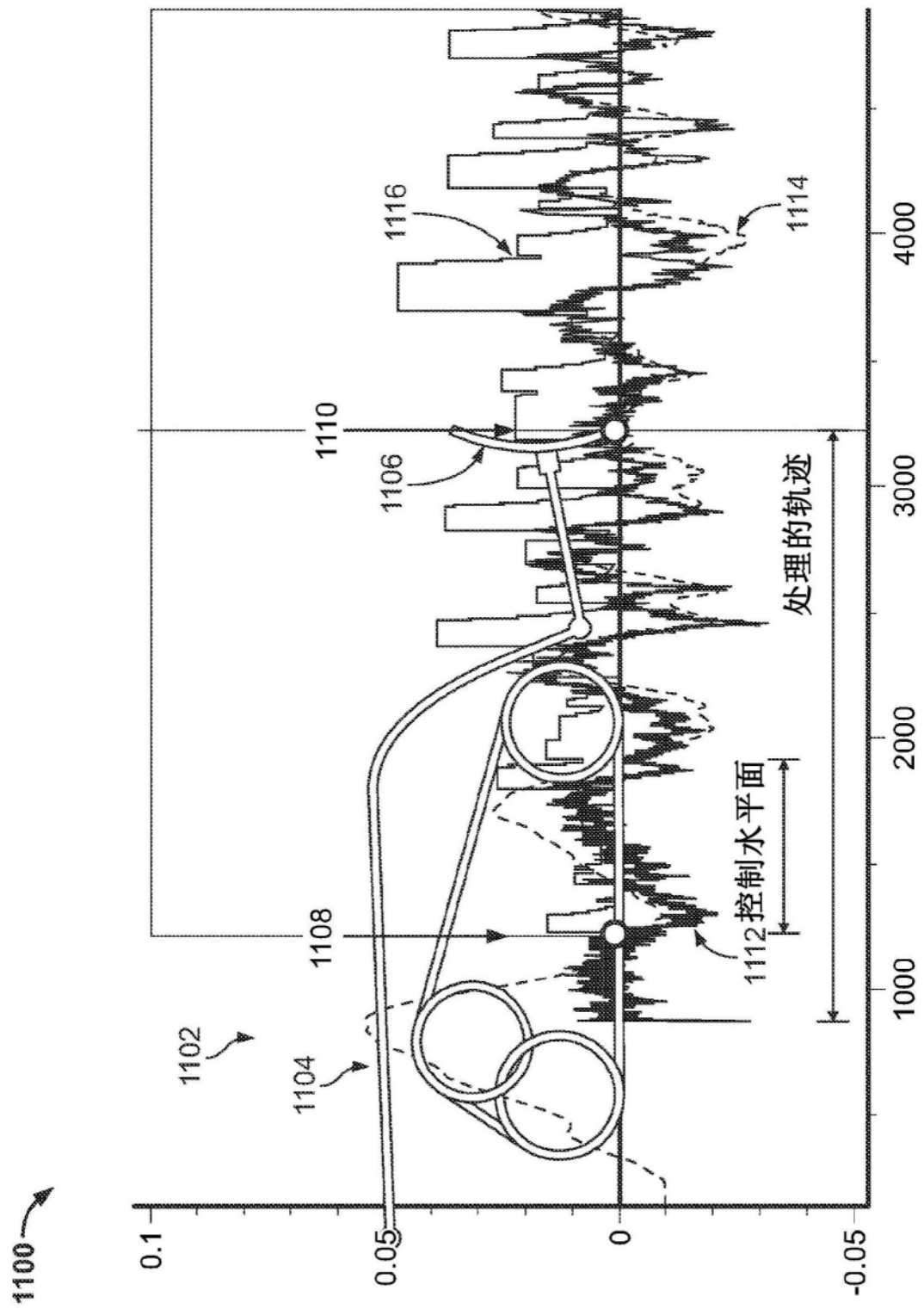


图11

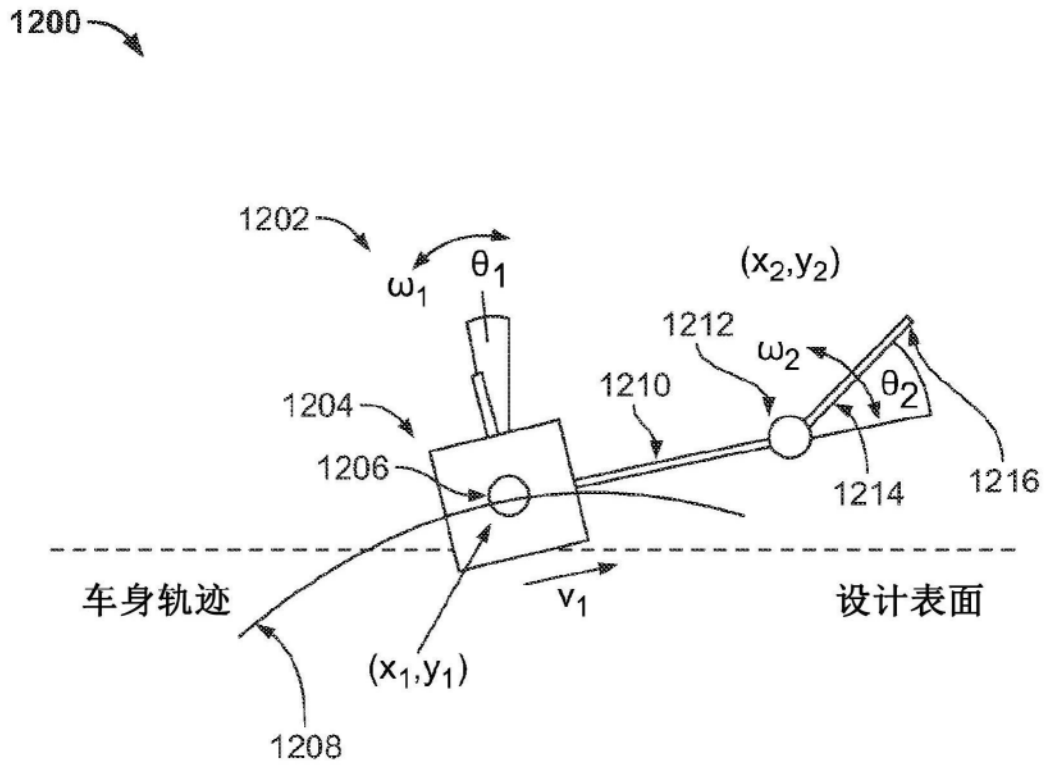


图12

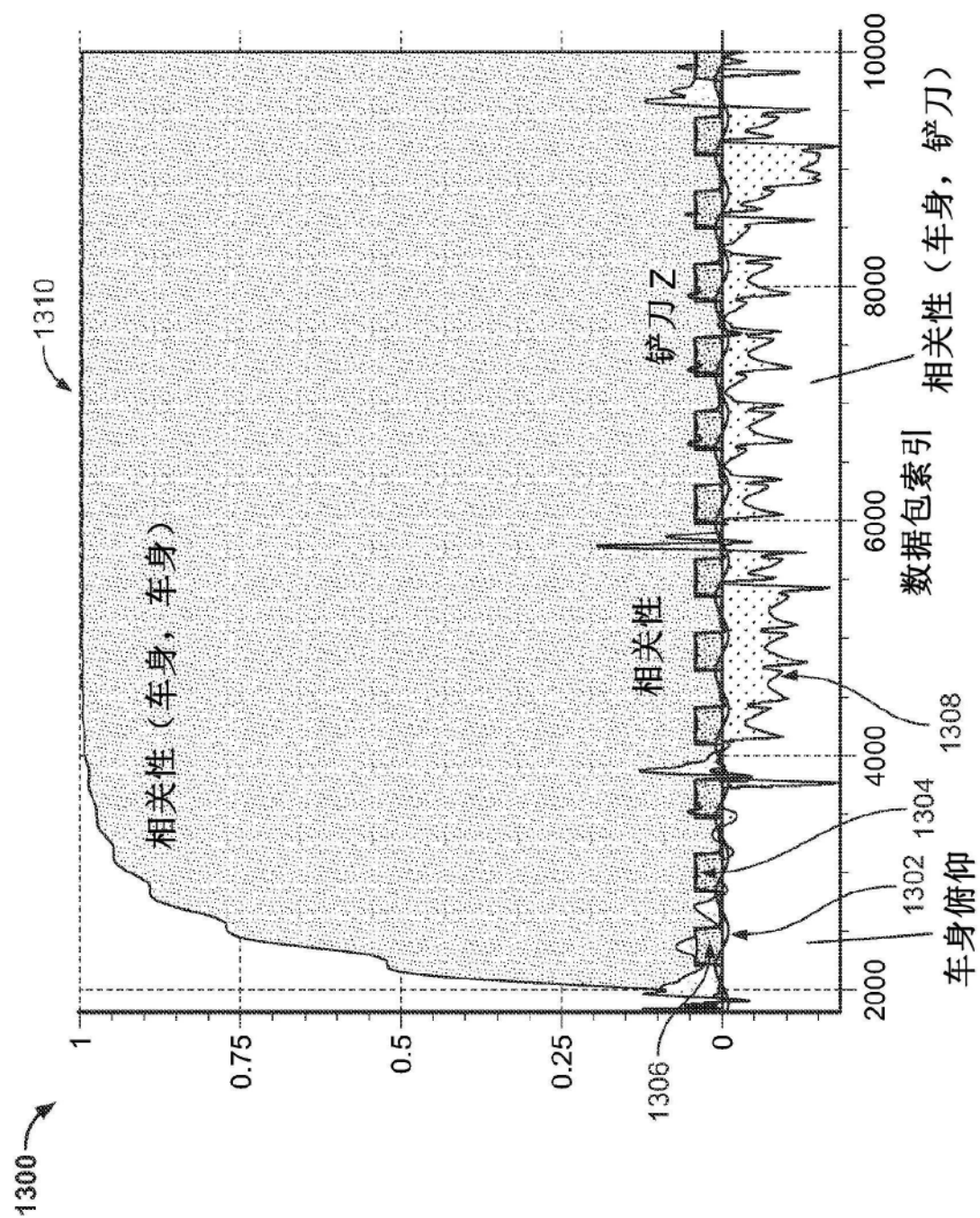


图13

1400

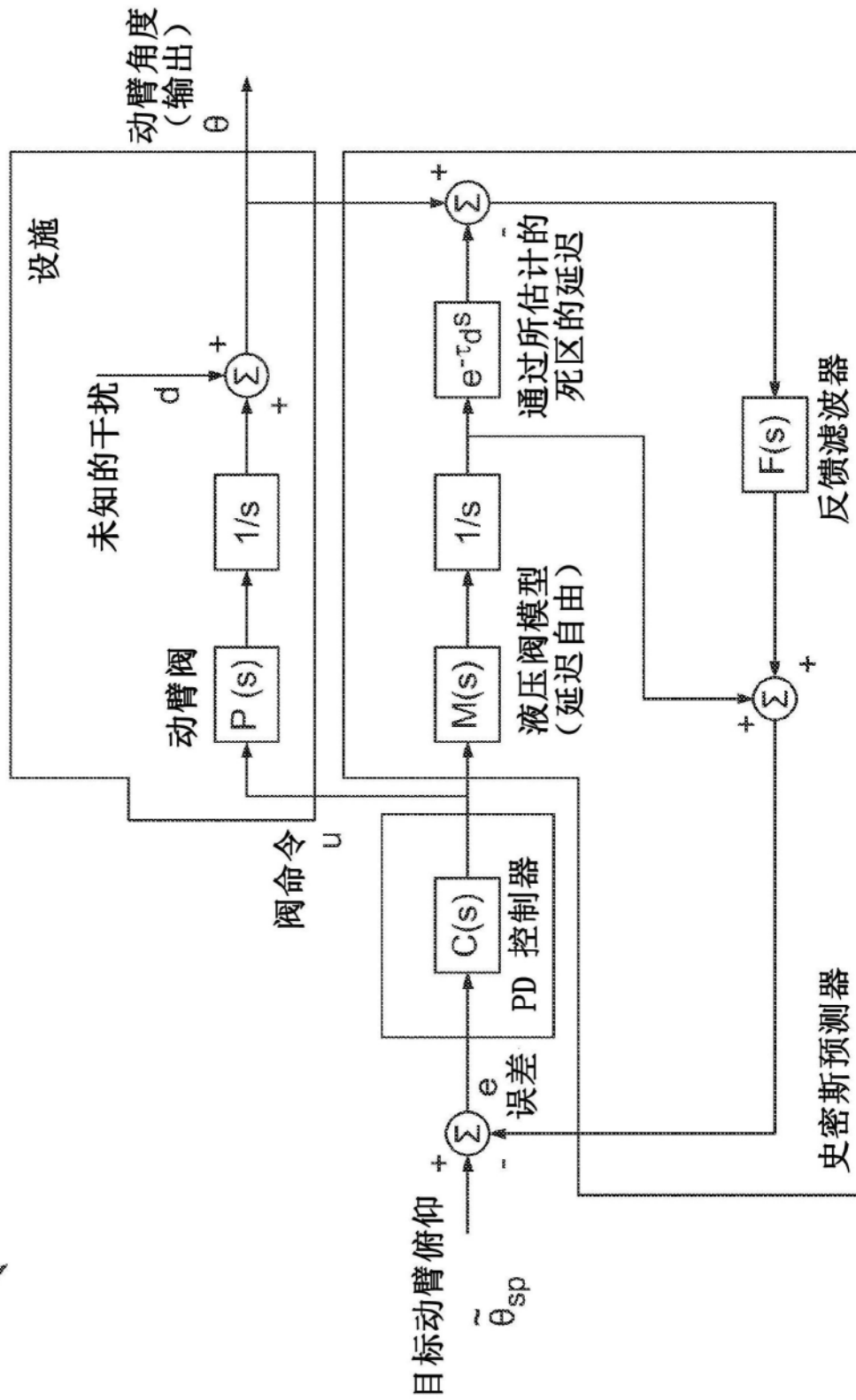


图14

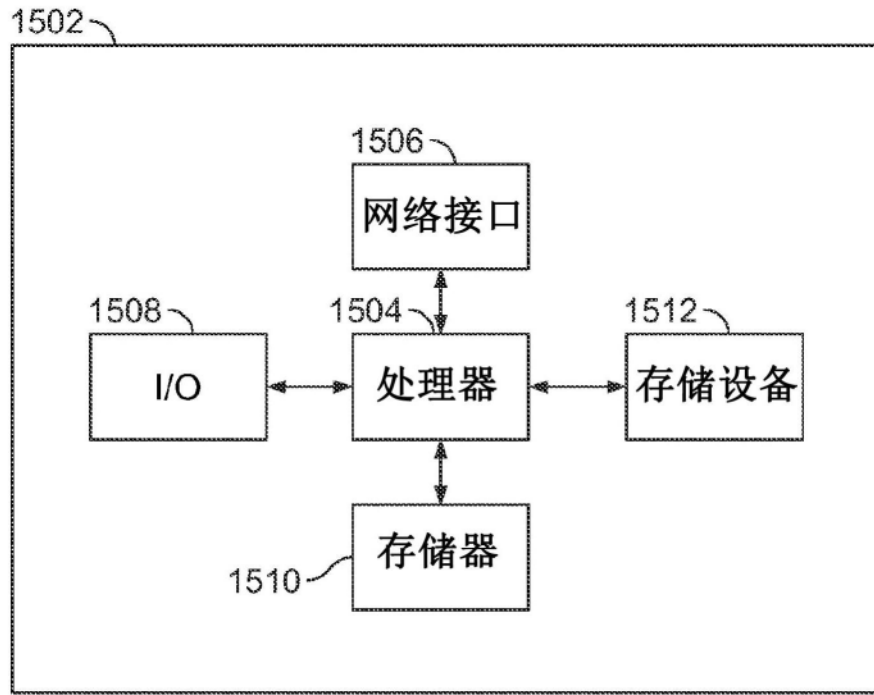


图15