



(10) 授权公告号 CN 114555894 B

(45) 授权公告日 2024. 04. 09

(21) 申请号 202080042623.9

(22) 申请日 2020.05.05

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114555894 A

(43) 申请公布日 2022.05.27

(30) 优先权数据
62/843,815 2019.05.06 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.12.09

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2020/031524 2020.05.05

(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/227323 EN 2020.11.12

(73) 专利权人 洛基德机器人有限公司
地址 美国得克萨斯州

(72) 发明人 德里克·莫尔斯 乔瓦尼·迪尼兹

(74) 专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227
专利代理师 高岩 乔图

(51) Int.Cl.
E04G 21/00 (2006.01)
G01C 21/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 104296733 A, 2015.01.21
CN 108700876 A, 2018.10.23
CN 108797669 A, 2018.11.13
JP 2018538647 A, 2018.12.27
US 2011153338 A1, 2011.06.23
US 2018339409 A1, 2018.11.29

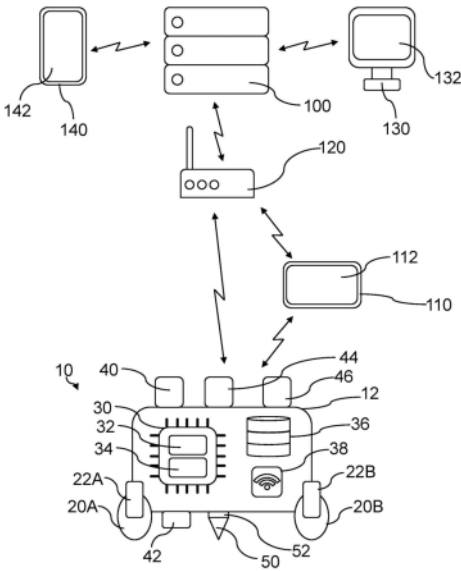
审查员 殷武
权利要求书3页 说明书19页 附图8页

(54) 发明名称

用于施工现场的自主导航的移动平台

(57) 摘要

一种包括多传感器包的自主工具,该多传感器包能够识别工具在施工现场中的位置,以便工具可以导航到执行任务的位置。该工具可以包括来自驱动系统编码器、立体摄像装置、惯性测量单元、光流传感器和激光雷达的组中的至少一个传感器。该工具可以包括允许移动平台的至少一个工具到达施工现场的末端的完整驱动器。该平台可以用作系统的一部分,该系统接收与施工现场相关的设计信息以及要由工具执行的任务,然后生成控制工具沿着路径导航的命令,该路径被生成为:对于大部分路径,包括在传感器的范围内因此可以被传感器检测到的地标。



1. 一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,所述方法基于要在施工现场中的一个或多个任务位置处执行的一个或多个任务的指示以及所述施工现场中的一个或多个地标,其中,所述移动平台包括至少一个工具安装位置,所述方法包括,使用至少一个处理器:

基于所述一个或多个地标的位置以及所述一个或多个任务位置,通过在所述移动平台沿着从当前位置到所述一个或多个任务位置的用于所述移动平台的路径移动时迭代地调整所述路径以增加所述移动平台的规划位置准确度,来生成所述路径,其中,所述规划位置准确度基于来自连续位移的位置估计中的规划误差;以及

基于所生成的路径以及所述一个或多个任务向设置在所述移动平台上的控制器提供任务命令。

2. 根据权利要求1所述的方法,还包括:使用所述控制器,基于执行所述任务命令,来生成控制信号以使所述移动平台沿着所生成的路径移动并且执行所述一个或多个任务。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,所述一个或多个地标是控制点或控制线。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中,增加所述规划位置准确度包括:迭代地调整所述路径以增加设置在所述一个或多个地标的阈值距离内的所述路径的量。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中,所述阈值距离基于从立体摄像装置、单目摄像装置和激光雷达单元的组中选择的至少一个传感器对所述一个或多个地标的检测能力,其中,所述阈值距离被设置在所述一个或多个地标能够被所述至少一个传感器检测到的距离处。

6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:在图形用户接口上输出所述路径。

7. 根据权利要求6所述的方法,其中:

生成所述路径包括:基于触发条件来结束迭代调整;并且

所述触发条件包括:在所述图形用户接口处接收来自人类用户的接受所述路径的输入。

8. 根据权利要求6所述的方法,还包括:

基于触发条件,根据所述一个或多个地标的位置和所述一个或多个任务位置来重新生成所述路径;并且

所述触发条件包括:在所述图形用户接口处接收来自人类用户的拒绝所述路径的输入。

9. 根据权利要求1所述的方法,还包括:使用所述控制器,基于所述路径和所述任务命令来控制所述移动平台以沿着所述路径移动。

10. 根据权利要求9所述的方法,还包括:当所述移动平台沿着所述路径移动时,使用选自立体摄像装置、单目摄像装置和激光雷达单元的组中的至少一个传感器来感测所述一个或多个地标。

11. 根据权利要求10所述的方法,还包括:基于从所述至少一个传感器接收的信息来校正所述移动平台的移动。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中,校正所述移动平台的移动包括:在反馈控制中使用由所述至少一个传感器提供的信息。

13. 根据权利要求10所述的方法,其中,所述至少一个传感器包括立体摄像装置、单目

摄像装置、惯性测量单元、光流传感器和激光雷达单元。

14. 根据权利要求11所述的方法, 其中, 所述至少一个传感器包括第一传感器, 其中, 所述方法还包括: 整合来自所述第一传感器的信息, 以计算所述移动平台在所述施工现场中的第一位置。

15. 根据权利要求14所述的方法, 其中, 所述至少一个传感器包括第二传感器, 其中, 所述方法还包括:

使用所述第一传感器连续地检测所述一个或更多个地标, 以计算所述移动平台在所述施工现场中的第二位置; 以及

将所述第一位置与所述第二位置进行比较以计算位置准确度值。

16. 根据权利要求15所述的方法, 还包括:

将所述位置准确度值与位置准确度阈值进行比较;

当所述位置准确度值降低到所述位置准确度阈值之下时, 将所述移动平台朝向所述一个或更多个地标中的一个地标移动; 以及

通过使用所述第二传感器感测所述一个或更多个地标中的所述一个地标来校准所述第一传感器。

17. 根据权利要求16所述的方法, 还包括: 基于所述位置准确度值改变所述控制器的一个或更多个参数, 用于整合来自所述第一传感器的所述信息, 以将所述位置准确度值增大到所述位置准确度阈值之上。

18. 根据权利要求14至17中任一项所述的方法, 其中, 所述第一传感器是立体摄像装置、单目摄像装置、惯性测量单元和光流传感器中的一个。

19. 根据权利要求14至17中任一项所述的方法, 其中, 所述第二传感器是激光雷达单元。

20. 根据权利要求1所述的方法, 其中, 迭代地调整所述路径以增加所述移动平台的规划位置准确度还基于感测相对于沿所述路径的一个或更多个地标的位置。

21. 一种用于在施工现场中操作移动平台的方法, 其中, 所述移动平台包括具有操作范围的多个传感器, 所述多个传感器能够在所述操作范围内检测地标, 所述方法包括:

识别所述施工现场中的一个或更多个地标的位置;

识别要在所述施工现场中的一个或更多个任务位置处执行的一个或更多个任务; 以及

基于所述一个或更多个地标的位置以及所述一个或更多个任务位置, 通过在所述移动平台沿着从当前位置到所述一个或更多个任务位置的用于所述移动平台的路径移动时迭代地调整所述路径以增加所述移动平台的规划位置准确度, 来生成所述路径, 其中, 所述规划位置准确度基于来自连续位移的位置估计中的规划误差。

22. 根据权利要求21所述的方法, 其中, 增加所述规划位置准确度包括: 迭代地调整所述路径, 以增加设置在所述一个或更多个地标的阈值距离内的所述路径的量, 其中, 所述阈值距离基于所述传感器的操作范围。

23. 根据权利要求21所述的方法, 还包括: 在图形用户接口上输出所述路径。

24. 根据权利要求23所述的方法, 其中:

生成所述路径包括: 基于触发条件来结束所述迭代地调整; 并且

所述触发条件包括: 在所述图形用户接口处接收来自人类用户的接受所述路径的输

入。

25. 根据权利要求23所述的方法,还包括:

基于触发条件,根据所述一个或更多个地标的位置和所述一个或更多个任务位置来重新生成所述路径;并且

所述触发条件包括:在所述图形用户接口处接收来自人类用户的拒绝所述路径的输入。

26. 根据权利要求21所述的方法,其中,所述一个或更多个地标是控制点或控制线。

27. 根据权利要求21所述的方法,其中,迭代地调整所述路径以增加所述移动平台的规划位置准确度还基于感测相对于沿所述路径的一个或更多个地标的位置。

28. 一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,包括:

识别所述施工现场中的一个或更多个地标的位置;

至少部分地基于所述一个或更多个地标的位置来使所述移动平台沿着导航路径移动;

整合来自至少一个第一传感器的信息以计算所述移动平台在所述施工现场中的第一位置;

当所述移动平台沿着所述路径移动时,使用至少一个第二传感器来感测所述一个或更多个地标,以计算所述移动平台在所述施工现场中的第二位置;

将所述第一位置与所述第二位置进行比较以计算位置准确度值;

将所述位置准确度值与位置准确度阈值进行比较;以及

基于所述位置准确度值来校正所述移动平台的移动,其中,校正所述移动平台的移动包括:在所述位置准确度值降低到所述位置准确度值阈值之下时,将所述移动平台移动到所述一个或更多个地标之一。

29. 根据权利要求28所述的方法,其中,所述至少一个第二传感器包括激光雷达单元。

30. 根据权利要求29所述的方法,其中,校正所述移动平台的移动包括:在反馈控制中使用由所述激光雷达单元提供的信息。

31. 根据权利要求28所述的方法,还包括:基于所述位置准确度值来改变一个或更多个参数,用于整合来自所述至少一个第一传感器的信息,以将所述位置准确度值增大到所述位置准确度阈值之上。

32. 根据权利要求29所述的方法,其中,所述一个或更多个地标是控制点或控制线。

33. 根据权利要求29至32中任一项所述的方法,其中,所述至少一个第一传感器包括选自驱动系统编码器、惯性测量单元和光流传感器的组中的至少一个。

34. 根据权利要求29至32中任一项所述的方法,其中,所述至少一个第二传感器包括立体摄像装置和单目摄像装置。

用于施工现场的自主导航的移动平台

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请根据35U.S.C.§119(e)要求于2019年5月6日提交的美国临时申请第62/843,815号的权益,其公开内容通过引用整体并入本文中。

技术领域

[0003] 所公开的实施方式涉及工具在施工现场的自主定位和相关的使用方法。

背景技术

[0004] 已经进行了一些尝试以在可以执行目标任务的施工现场中布置自主或半自主系统。这些常规系统通常采用全站仪测量设备或信标导航系统,这些设备或系统需要将导航设备或信标放置在施工现场的已知位置。

发明内容

[0005] 在一些实施方式中,一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,该方法基于要在施工现场中的一个或多个任务位置处执行的一个或多个任务的指示以及至少在二个维度上表示施工现场的设计文件,其中,设计文件包括施工现场中的一个或多个地标,并且其中,移动平台包括至少一个工具安装位置,该方法包括:使用至少一个处理器,基于一个或多个地标的位置以及一个或多个任务位置,通过迭代地调整用于移动平台的路径以通过补偿检测到的误差或者通过增加一个或多个地标的阈值距离内的路径的量来提高准确度,来生成和/或执行该路径。该方法还包括:基于所生成的路径以及一个或多个任务向设置在移动平台上的控制器提供任务命令。

[0006] 在一些实施方式中,用于在施工现场中导航的移动平台包括:驱动系统,其被配置成使移动平台在三个自由度上移动;至少一个致动器,其操作地耦接到驱动系统并且被配置成在激活时移动驱动系统,以使移动平台在三个自由度中的至少一个自由度上相应地移动;至少一个工具,其可操作成执行工地中的一个或多个任务。该移动平台还包括:控制器,该控制器:具有运动控制单元,该运动控制单元被配置成选择性地激活或停用至少一个致动器;以及工具控制单元,其被配置成选择性地激活或停用至少一个工具以执行一个或多个任务。

[0007] 在一些实施方式中,一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,其中,平台包括具有操作范围的多个传感器,传感器能够在该操作范围内检测地标,该方法包括识别施工现场中的一个或多个地标的位置,以及识别要在施工现场中的一个或多个任务位置处执行的一个或多个任务。该方法还包括:基于一个或多个地标的位置以及一个或多个任务位置,通过迭代地调整用于移动平台的路径以通过补偿检测到的误差或者通过增加一个或多个地标的阈值距离内的路径的量来提高准确度,来生成路径,其中,阈值距离基于传感器的操作范围。

[0008] 在一些实施方式中,一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,该方法包括:识

别施工现场中的一个或多个地标的位置,至少部分地基于一个或多个地标的位置使移动平台沿着导航路径移动,当移动平台沿着导航路径移动时,使用选自立体摄像装置、惯性测量单元、光流传感器和激光雷达单元的组中的至少一个来感测一个或多个地标,以及基于由驱动系统编码器、立体摄像装置、惯性测量单元、光流传感器和激光雷达单元中的至少一个提供的信息来校正移动平台的移动。

[0009] 在一些实施方式中,一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,该方法基于要在施工现场中的一个或多个任务位置处执行的一个或多个任务的指示以及在至少两个维度上表示的设计文件,其中,设计文件包括施工现场中的一个或多个地标,其中,移动平台包括至少一个工具安装位置,该方法包括:使用至少一个处理器,基于一个或多个地标的位置和一个或多个任务位置,通过迭代地调整用于移动平台的路径以增加移动平台的规划位置准确度,来生成路径,迭代地调整用于移动平台的路径以增加移动平台的规划位置准确度基于来自连续位移的位置估计中的规划误差和/或感测相对于沿路径的一个或多个地标的位置,以及基于所生成的路径以及一个或多个任务向设置在移动平台上的控制器提供任务命令。

[0010] 一种用于在施工现场中操作移动平台的方法,其中,平台包括具有操作范围的多个传感器,传感器能够在操作范围内检测地标,该方法包括:识别施工现场中的一个或多个地标的位置;识别要在施工现场中的一个或多个任务位置处执行的一个或多个任务;以及基于一个或多个地标的位置和一个或多个任务位置,通过迭代地调整用于移动平台的路径以增加移动平台的规划位置准确度,来生成路径,迭代地调整用于移动平台的路径以增加移动平台的规划位置准确度基于来自连续位移的位置估计中的规划误差和/或感测相对于沿路径的一个或多个地标的位置。

[0011] 应当理解,前述构思和以下讨论的另外的构思可以以任何合适的组合被布置,因为本公开内容在这方面不受限制。此外,根据以下在结合附图考虑时对各种非限制性实施方式的详细描述,本公开内容的其他优点和新特征将变得明显。

附图说明

[0012] 附图并不意在按比例绘制。在附图中,在各个图中示出的每个相同的或几乎相同的部件可以由相同的附图标记表示。为了清楚起见,并没有在每个附图中对每个部件都进行标记。在附图中:

[0013] 图1是具有用于在施工现场中导航的移动平台的施工辅助系统的示例性实施方式的示意图;

[0014] 图2是处于第一位置的移动平台底盘的示例性实施方式的俯视示意图;

[0015] 图3是处于第二位置的图2的移动平台的俯视示意图;

[0016] 图4是用于在施工现场中操作移动平台的系统和方法的示例性实施方式的功能框图;

[0017] 图5A是施工现场的设计文件的示例性实施方式的图形表示;

[0018] 图5B是从图5A的设计文件中提取的地标的示例性实施方式的图形表示;

[0019] 图5C是从设计文件中提取的至少一个工具的约束的示例性实施方式的图形表示;

[0020] 图6A是用于在施工现场中导航的移动平台的路径优化方法的一些实施方式中采

用的地标影响区域的示例性实施方式的图形表示；

[0021] 图6B是基于图6A的地标影响区域为移动平台生成的路径的示例性实施方式的图形表示；

[0022] 图7是移动平台的任务服务器、移动控制单元和工具控制单元的示例性实施方式的示意图；

[0023] 图8是用于沿着路径控制移动平台的运动控制单元的示例性实施方式的示意图；以及

[0024] 图9是用于校准移动平台的一个或更多个传感器的运动控制单元的示例性实施方式的示意图；

[0025] 图10是移动平台底盘的另一示例性实施方式的俯视示意图；以及

[0026] 图11是打印系统的示例性实施方式的示意图。

具体实施方式

[0027] 在过去的50年中,以每小时工作创造的价值衡量的施工生产率在美国稳步下降。生产力低下,加上工艺劳动力短缺和劳动力成本较高,是施工行业的主要痛点。已经进行了一些常规努力以在施工现场上实现自动化或半自动化任务,但这些常规系统需要不断的人工监督,容易出现导航错误,并且在狭小空间内的移动性有限,所有这些都限制了这种常规系统在施工现场中执行有用任务的能力。此外,许多常规系统需要放置有源设备或信标以帮助在工地中导航,这使得快速且大规模地采用自动化平台变得复杂。

[0028] 鉴于上述,发明人已经认识到用于移动平台的设计和操作的技术,该移动平台可以支持多种工具,并且可以在工作空间中精确地和重复地导航,以使得能够使用该工具执行自动化任务。使用移动平台的系统使用本文所述的一种或更多种技术在施工现场内自主定位工具,该系统可以通过克服使施工任务自动化的先前努力的一个或更多个缺点来提高施工生产率。

[0029] 根据一个方面,移动平台可以采用多个传感器,这些传感器可以用于计算移动平台在工作空间内的可比较位置。多个传感器中的一些可以用于局部位置确定,而其他传感器可以用于单独的全局位置确定,从而独立计算可比较的、不同的局部和全局位置。可以比较根据独立操作的传感器的输出确定的平台位置,以计算位置准确度值,该值可以用于改变在路径上行进时平台的一个或更多个参数。例如,平台可以包括驱动系统编码器、摄像装置、立体摄像装置、光流传感器、惯性测量单元和激光雷达单元,来自其中任何一个的信息被结合以提高移动平台对施工现场的自主导航的精度和准确度。这些传感器可以检测工作空间中的现有特征(例如,结构),从而允许在无需额外布置特定信标或单独的导航设备情况下布置移动平台。

[0030] 根据另一个方面,移动平台可以包括用于导航施工现场的平台的完整驱动系统。该完整驱动系统可以允许移动平台在三个自由度上移动,使得安装在移动平台上的工具可以到达工作空间的末端以执行一个或更多个任务。在一些实施方式中,完整驱动器可以允许移动平台在三个自由度上全向移动。在一个实施方式中,完整驱动系统包括四个轮子,这些轮子可独立致动且独立转动以允许移动平台在平面内平移、绕中心轴旋转或者两者的组合(即,三个自由度)。

[0031] 根据又一个方面,施工辅助系统可以包括一个或更多个处理器,这些处理器可以生成任务命令以控制移动平台。这些处理器可以被编程以实现设计文件处理工具,该工具根据用于施工行业的标准化设计文件(例如.csv、.dwg、.dxf、.dwg、.rvt、.nwd、.ifc等)生成相关导航信息。设计文件可以针对工地中现有的或预期的特征(例如测量控制点、测量控制线、结构元素或其他结构特征)而被处理,这些特征可以被识别为在移动平台的导航期间使用的一个或更多个地标。例如,在某些情况下,此类特征可以与建筑物的结构元素(例如,承重墙、柱、楼梯间、电梯井等)有关。设计文件处理工具可以在移动平台上实现或在与移动平台通信的远程服务器上实现或两者上实现。在一些实施方式中,用户可以经由互联网或其他网络访问服务器,该用户可以上传设计文件并且提供与要自主执行的任务相关的其他输入。

[0032] 一些任务命令可以控制平台的移动。其他任务命令可以控制工具的操作。还可以扫描设计文件以得到用于执行一个或更多个任务命令的一个或更多个任务位置。替选地,可以作为用户输入接收用于执行任务命令的位置。最外面的任务位置可以用作确定移动平台的操作包络的约束。处理工具可以基于一个或更多个地标以及一个或更多个任务位置生成路径。可以考虑地标的位置来计算路径。与在移动平台上的传感器范围内具有较少地标的路径段相比,可以更优先地选择在传感器范围内具有较多地标的路径段。因此,根据本文中描述的示例性实施方式的系统可以允许建筑师、施工监督员或商人将文件上传到设计文件处理工具并且允许系统自动确定优化路径以使移动平台导航的精度和准确度最大化。

[0033] 根据又一方面,用于导航施工现场的移动平台可以基于已知地标(例如控制点或控制线)来确定位置准确度并且校准控制器。在一些实施方式中,移动平台以高频解释来自至少一个传感器(例如惯性测量单元、光流传感器或单目摄像装置、驱动系统编码器、立体摄像装置、里程计等)的数据,并且以低频解释来自第二至少一个传感器(例如,激光雷达、图像识别等)的数据。可以整合以高频解释的数据,以通过确定移动平台的位置相对于最后已知位置的变化来确定第一局部位置估计。以低频解释的数据可以用于通过识别所述地标并建立移动平台相对于坐标系的绝对位置,确定机器人系统相对于已知地标的第二全局位置。然而,来自本文中描述的示例性传感器的数据可以以任何合适的频率解释以确定单独的局部和全局位置,因为本公开不限于此。在一些实施方式中,局部位置估计可以实现连续位置映射,而全局定位估计可以实现离散位置映射。例如,移动平台可以采用来自轮子的里程计来进行用于局部位置估计的连续位置映射,而检测一个或更多个地标的传感器可以用于要用于全局位置估计的离散位置映射。可以将第一位置与第二位置进行比较以确定位置准确度值。当位置准确度值下降到预定阈值之下时,移动平台可以导航到工地中的已知位置(例如,诸如控制点或控制线之类的地标),并且重新校准控制器以补偿高频和/或低频传感器的误差。这种布置允许机器人系统导航控制器在操作期间被调整并且补偿传感器中的误差或者修改控制器(例如,当采用PID或PIV控制器时,比例、积分或微分常数之一)的一个或更多个参数。当然,虽然本文中的示例性实施方式描述了具有选自惯性测量单元、光流传感器、单目摄像装置、立体摄像装置、里程计和激光雷达的组中的一个或更多个传感器的移动平台,但是可以采用任何合适的传感器来提供移动平台的位置、速度和/或加速度信息,因为本公开不限于此。

[0034] 根据又一方面,自动化机器人系统可以与位于施工现场的人工操作的工作站集成

以改进路径优化、校准导航控制器并且在一些情况下允许手动控制。地面站可以与移动平台控制器和/或远程服务器通信。当由远程服务器和/或控制器生成路径时,路径可以被发送到地面站处的图形用户接口以供操作者检查。操作者可以拒绝该路径,使得由控制器和/或远程服务器重新计算该路径、手动修改该路径或者接受该路径。在最初或最终接受路径时,移动平台可以沿着路径自主导航。这种布置可以允许人类操作者在移动或任何任务完成之前检查移动平台的路径,以及针对施工现场中的可变条件微调路径。

[0035] 本文描述的示例性实施方式的移动平台可能能够通过自动化工具的运输、定位和操作来执行各种任务和服务,而无需人工操作。可以执行的任务包括:将数字设计转换为现实世界的布局(即准确标记工地的特定建筑/工程特征的位置)、材料处理(将材料和设备运输到适当的位置)、执行安装工作(例如,标记安装位置、钻孔、安装挂钩、制造材料、准备设备等)部分,和/或安装各种建筑系统(例如,墙壁系统、机械系统、电气系统、管道系统、喷头系统、电话/数据系统等)。移动平台可以配备有一个或多个工具,包括但不限于:标记系统(例如,打印机、刷子、标记器等)、材料处理和操纵系统(臂、抓钩、夹持器等)、旋转工具(例如钻头、冲击扳手、锯、磨床等)、往复式工具(例如锯、锉刀等)、轨道工具(例如砂光机、切割工具等)、冲击工具(例如锤子、削片工具、钉子等)以及其他动力工具,包括支撑它们所需的设备(例如,压缩机、泵、螺线管、致动器、压力机等)。

[0036] 现在转向附图,更详细地描述了具体非限制性实施方式。应当理解,关于这些实施方式所描述的各种系统、部件、特征和方法可以单独地和/或以任何期望的组合被使用,因为本公开内容不限于仅本文中描述的具体实施方式。

[0037] 图1是包括用于在施工现场中导航的移动平台10的施工辅助系统的一个实施方式的示意图。如图1所示,系统可以包括解释各种类型的数据的一个或多个计算机处理器。这些计算机处理器可以被编程以实现诸如以下的功能:从设计文件中提取关于施工现场的信息;接收指定要执行的施工任务的输入;确定或执行移动平台为执行任务而遍历的路径;以及向移动平台生成命令以执行这些任务。这些处理器可以位于同一位置或分布在多个位置。在一些实施方式中,一些处理器可以在移动平台10上,而其他处理器可以在可以连接到互联网或其他通信网络的一个或多个远程装置中。

[0038] 如图1所示,移动平台可以自主或半自主地导航和操作,并且可以与一个或多个远程或本地装置通信。在图1的实施方式中,移动平台包括安装在底盘12上的各种控制器和传感器,这些控制器和传感器能够在施工现场中进行高准确度导航,而不依赖于放置在施工现场上的导航信标或设备。特别地,图1的机器人系统包括具有运动控制单元32和工具控制单元34的任务服务器30。

[0039] 运动控制单元被配置成控制驱动系统,该驱动系统至少包括由第一致动器22A驱动的第一轮子20A以及由第二致动器22B驱动的第二轮子20B。在一些实施方式中,驱动系统是完整驱动系统,在示出的实施方式中,该驱动系统允许移动平台在三个自由度上全向移动(如将参照图2至图3进一步讨论的)。

[0040] 工具控制单元被配置成控制安装在移动平台上的一个或多个工具的激活和/或运动。工具控制单元可以向相关联的工具发出一个或多个命令以执行一个或多个任务。在图1所示的配置中,移动平台包括安装在托架52上的标记装置50,该托架52允许标记到达移动平台的底盘12的末端。工具控制单元被配置成控制标记装置在托架上的移动并且

沉积墨、粉末或其他有效标记材料以根据设计文件布局施工现场。标记装置可以响应于来自工具控制单元的命令对施工现场中的诸如如墙壁和地板、柱子、天花板等材料做标记。托架可以响应于来自工具控制单元的命令将标记装置定位在适当的任务位置。来自工具控制单元的其他命令可以控制标记的参数,例如线宽、颜色、材料等。

[0041] 如图1所示,移动平台10包括多个传感器,这些传感器被配置成获取和/或输出关于移动平台周围环境的信息,使得移动平台可以自主导航而无需在工地中使用附加的信标或导航设备。根据所描绘的实施方式,移动平台包括立体摄像装置40、光流传感器42、惯性测量单元44和激光雷达单元46。如下文将进一步讨论的,当移动平台导航通过施工现场时,任务服务器30可以融合由每个传感器获取和/或输出的信息。在一些实施方式中,来自至少两个传感器的信息可以被求平均、基于条件被选择、被比较以发现误差和/或任何其他适当的操作。例如,独立的局部位置可以通过惯性积分或光流来确定,而全局位置是通过经由激光雷达单元46或摄像装置立体对的地标识别来生成的。这些独立生成的位置的比较可以允许移动平台在移动平台导航施工现场时自测位置准确度并且重新校准任务服务器的一个或更多个参数。当然,可以采用任何合适数目或类型的传感器并且将它们的数据融合、组合或比较以提高施工现场中自主导航的准确度和/或精确度,因为本公开不限于此。

[0042] 在图1所示的实施方式中,移动平台10还包括与任务服务器30协作以允许移动平台在施工现场中自主导航和执行任务的附加装置。例如,移动平台包括:存储装置36,存储装置36例如是硬盘驱动器、固态驱动器或者用于存储指令或其他数据的其他存储器;以及无线通信器38,无线通信器38通过任何适当的通信协议(例如,卫星、蜂窝、Wi-Fi、802.15.4等)与各种本地或远程装置无线通信。当然,图1的移动平台在进行无线通信的同时,也可以采用例如有线串口、以太网端口等任何合适的有线通信接口。存储装置和无线通信器的组合使得移动平台能够发送、接收和存储来自一个或更多个外部装置的数据,所述外部装置例如是远程服务器(即,云服务器)100、远程计算机130、移动装置140或本地工作站110(例如,诸如膝上型电脑、平板电脑或移动电话的便携式或手持装置、台式计算机或在移动平台和/或网络接入点的无线或有线范围内以便工作站可以从施工现场与移动平台通信或控制移动平台的任何其他适当的设备)。这种布置可以允许由任务服务器分析从远程服务器提供的文件,以生成路径、任务、任务位置和其他相关信息,机器人系统可以使用这些信息在工地自主或半自主地执行任务。

[0043] 如上所述,图1的移动平台10被配置成与多个外部装置通信以简化自主导航以及执行一个或更多个任务。与移动平台直接或间接通信的外部装置包括远程服务器100、地面站110、路由器120、远程计算机130和移动装置140。可以位于数据中心中作为云计算服务的一部分的远程服务器用于管理由机器人系统用于导航和执行任务的文件。即,远程服务器可以协调文件管理、路径生成、路径校正、任务规划和任何其他所需的功能。在一些实施方式中,可以在移动平台10上协调路径校正。远程服务器允许设计者(例如承包商、顾问、工程师和建筑师)提供可以由移动平台采用的设计文件和任务信息。如将参照图4进一步讨论的那样,远程服务器可以通过从诸如2D或3D绘图或计算机辅助设计(CAD)文件之类的设计文件中提取信息来自动生成用于在施工现场中的各种位置处执行任务的优化路径。工程师、建筑师或其他远程工作人员可以从行业标准文件管理平台或者经由上传文件的网络接口与远程服务器进行交互,其中,行业标准文件管理平台或者上传文件的网络接口中的任何

一个都可以在移动装置140或远程计算机130上。移动装置图形用户接口142或远程计算机图形用户接口132可以用于从远程服务器传输或下载文件以及使用CAD或建筑信息管理(BIM)软件平台修改文件。远程服务器上采用的文件管理系统可以包括用于存储图纸、规划和相关数据的数据库,并且可以被适配为向用户提供存储文件的修改历史。远程服务器还使承包商、商人或施工现场本地可用的其他工人能够提供对路径、任务位置或控制参数的反馈。特别地,远程服务器可以与具有地面站图形用户接口112的地面站通信。地面站图形用户接口可以允许在移动平台开始自主操作之前由操作者确认、修改或拒绝由远程服务器在现场生成的导航和任务规划。在某些情况下,地面站还可以用于手动重写或手动控制移动平台。根据图1的实施方式,路由器120可以被配置成调制解调器、卫星、蜂窝塔或适合于协调远程服务器、移动平台和/或地面站之间的数据传输的其他合适的接口。

[0044] 应当注意,虽然参照图1示出和描述了远程服务器100,但是可以使用任何适当的服务器或处理器,包括位于本地(例如,在移动平台上)或紧邻工地的服务器和处理器,因为本公开不限于此。

[0045] 图2是包括完整驱动系统的移动平台10的一个实施方式的俯视示意图,该完整驱动系统使移动平台能够在三个自由度上移动并到达施工现场的末端。完整驱动系统允许机器人系统将安装在移动平台上的工具定位在与施工现场的末端齐平的区域(例如角落)中,否则可能需要多次移动才能到达或者无法接近该区域。图2的完整驱动系统包括四个轮子20A、20B、20C、20D,每个轮子耦接到相应的致动器22A、22B、22C、22D。四个轮子中的每一个都围绕独立控制的轴旋转,这允许轮子相对于移动平台的底盘12成角度。即,每个轮子和它们各自的致动器经由轴致动器26A、26B、26C、26D耦接到底盘12,轴致动器中的每一个被配置成耦接到各自的轮子支撑件24A、24B、24C、24D的伺服马达。轴致动器允许独立调整(即旋转)每个轮子的轴,以便移动平台可以在三个自由度上自由移动。这种布置在2D平面环境中提供了完全的运动灵活性,并且能够执行非常复杂的运动模式以完成某些任务。当然,虽然图2中示出了可独立旋转的轮子,但是可以采用例如全向轮子的任何合适的完整驱动系统。

[0046] 根据图2的实施方式,移动平台10提供鲁棒的底盘12,以用于安装各种工具或有效负载。底盘12被配置成经由轴致动器26A、26B、26C、26D和图中未示出的其他支撑件彼此固定的两个平板。底盘具有多个硬安装点,这些硬安装点允许将工具或有效负载模块化地安装到移动平台。当然,虽然图2的底盘被配置成两个平板,但是可以采用底盘的任何合适的形状和布置,因为本公开不限于此。

[0047] 图2是移动平台10在第一位置的俯视示意图,图3是移动平台在第二位置的俯视示意图,这示出了由完整驱动系统提供的自由度。如图2所示,在第一位置处示出了完整驱动系统,其中第一轮子20A的旋转轴与第三轮子20C的旋转轴对准,而第二轮子20B的旋转轴与第四轮子20D的旋转轴对准并且第二轮子20B和第四轮子20D的旋转轴垂直于第一轮子和第三轮子的轴。在图2所示的配置中,移动平台能够通过改变轮子绕其不同旋转轴的旋转方向或者改变轮子的旋转轴自身而在三个自由度上移动。完整驱动系统能够使移动平台沿着第一轴28A、垂直于第一轴的第二轴28B移动,并且还能够改变移动平台围绕第三轴28C的取向。如图3所示,轮子已经被旋转以利于移动平台沿着第二轴28B的移动。即,轮子的每个旋转轴已经被相应的轴致动器移动,使得第一轮子20A与第四轮子20D对准,第二轮子20B与第三轮子20C对准,并且轴彼此平行。为了达到图3所示的状态,任务服务器的驱动系统单元可

能已经生成了指定要旋转哪个轮轴以及期望旋转的幅度的命令。替选地,任务服务器可以生成指定期望位置的任务命令,并且运动控制单元可以生成每个轮子致动器和轴致动器的对应命令以将移动平台控制到该位置。当然,任务服务器、运动控制单元或者任何其他合适的处理器或控制单元可以使用任何合适的任务命令(包括上述任务命令的组合)来控制移动平台的移动,因为本公开不限于此。因此,移动平台可以容易地沿第二轴移动,或者可绕第三轴28C旋转。类似地,轮子可以被旋转成利于移动平台沿图2中所示的第一轴28A的移动。可以在不使移动平台本身从初始位置移动的情况下调整轮子的轴,从而允许移动平台以三个自由度中的任何一个从初始位置移动。例如,一个或更多个轴致动器可以根据来自运动控制单元的命令来调整轮子的轴。

[0048] 图4描绘了用于在施工现场200中操作移动平台10的系统方法的一个实施方式的功能框图。如前所述,在施工现场上执行的许多活动可以由建筑和工程设计来定义。这些设计由建筑师、工程师和承包商创建,并且被保存在电子文件(即设计文件)中。设计文件可以以行业标准格式存储,所述行业标准格式包括CAD绘图、BIM模型和其他数字格式(例如,.dxf、.dwg、.rvt、.nwd、.ifc等),这些格式经由例如图1的远程服务器100的本地或远程文件管理系统编译、管理和分发。根据图4所示的处理,本文中描述的示例性实施方式的远程服务器和移动平台将设计文件转换为移动平台的有形工作和现实世界的动作。图4的方法开始于转换在远程服务器处接收的标准化文件(1)(例如.dwg文件)。该文件可以通过手动上传或者与现有文件管理系统的直接连接来接收。在接收到文件时,远程服务器处理标准格式的设计文件,并且根据设计生成相关信息,生成移动平台将使用的三个主要文件:地标文件(.rgL),包含导航信息,用于在无需安装传感器或信标的情况下进行设计验证和室内导航所使用的环境的相关特征的地标提取;驱动文件(.rgD),其确定移动平台在运行期间在现场执行的规划路径;以及工具文件(.rgT),其确定所支持的工具的序列、参数和操作定义。该方法接下来包括:在远程服务器上存储所有三个专有文件以及原始文件的副本,以便一个或更多个远程用户可以访问这些文件。

[0049] 在一些实施方式中,不是将标准文件转换成三个主要文件,而是可以将标准文件分解成移动平台使用的两个文件。一个文件可以是特征文件(.rgF),其包含在无需安装传感器或信标的情况下进行设计验证和室内导航所使用的环境的相关特征的导航信息。另一文件可以是任务文件(.rgT),其确定移动平台在运行期间要在现场执行的规划路径以及所支持的工具的序列、参数和操作定义。这些专有文件可以被存储在远程服务器上,以便一个或更多个远程用户可以访问这些文件。

[0050] 在使用如上所述的系统的代表性方法中,可以在移动平台被放置在期望的施工现场上并且被通电时开始移动平台10的现场部署。然后,操作者本地地(例如,使用移动平台上的开关)、在地面站处或者远程地启动任务的执行。在操作者命令执行任务时,移动平台可以从内部或外部存储器中调用或者向地面站或文件管理服务(2)提交请求并且下载必要的命令文件。然后,移动平台执行地标提取过程(3),并且使用文件中的信息来识别(在设计和施工现场二者中都可可靠存在的)已知特征,识别(在施工现场中存在但是在设计中不存在的)未知特征,建立其全局参考坐标系,并且对其控制系统执行初始调整。例如,移动平台可以使用一个或更多个传感器来检测施工现场中的一个或更多个特征(例如,控制点和线、结构元素、地板穿透等),并且将该识别特征与任务命令文件中提到的特征进行匹配。地标提

取过程包括执行在地标数据系统文件(.rgL)中(或者在一些实施方式中,在特征数据系统文件(.rgF)中)预先确定的运动规划。在地标数据系统文件的执行期间,移动平台上的传感器收集数据并且根据实际平面图条件表征地标。在地标提取过程结束时,移动平台将已经收集并表征了平面图,并且已经通过将其自身的里程计读数与控制点或其他已识别的已知特征或地标进行比较而执行了对传感器的校准。所提取的地标文件将基于来自移动平台传感器的反馈而修改为最终提取的地标文件(.rgLX),并且被提交给操作者来进行批准、修改或拒绝。

[0051] 一旦特征识别处理完成,所提取的地标文件被提交到远程服务器,远程服务器基于由移动平台10的传感器识别的作业现场的原样条件来调整驱动和工具文件(4)。规划调整过程将来自提取的地标文件(.rgLX)的地标位置和签名与原始地标数据文件(.rgL)进行比较。该比较分两个步骤完成:匹配和校正。在匹配步骤中,远程服务器基于移动平台在平面图上的初始位置来识别由提取的地标文件采用的坐标系,该坐标系可以与驱动系统地标数据文件中使用的坐标系不同或者可以相同。在坐标系不同的情况下,远程服务器将由移动平台生成的数据与原始地标文件进行匹配。接下来,在校正步骤中,远程服务器对将地标数据系统映射到所生成的地标数据的变换函数进行求解。此外,远程服务器识别这些文件之间的任何差异,例如地标取向、定位和位置,并且定义要在其他规划中使用的调整参数。

[0052] 远程服务器创建经调整的驱动文件(.rgDX)和经调整的工具文件(.rgTX),并且发送它们以供操作者确认和批准。控制站(例如,远程计算机、地面站等)提示(5)操作者确认和验证经调整的路径。操作者可能认为验证步骤是准确的、不一致的或不正确的,并且可以在控制站上的图形接口中为操作者显示在驱动和工具文件调整步骤中发现的变换函数和相对误差。如果操作者认为经调整的文件准确,则经修改的驱动和工具文件对操作者是可接受的,并且移动平台对文件中的指令的执行将创建所需的工作产品。如果操作者认为经调整的文件不一致,则操作者识别规划调整错误的区域,例如当在规划中识别的地标正确但是经调整的基础驱动和/或工具规划不一样时。在这种情况下,操作者可以使用控制站的图形用户接口来对调整参数进行轻微调整,包括重新计算变换函数和调整参数。如果操作者认为经调整的文件不正确,则操作者识别标志提取产生不正确地标的地方,这可能是由错误的或中断的标志提取处理引起的。如果经调整的文件不正确,则操作者可以命令移动平台再次执行地标提取过程(3),并且重新调整所提取的地标文件。当调整被认为准确并得到确认时,调整参数和变换函数被应用到驱动系统和工具系统数据文件,生成包含适合于生成用于移动平台的导航路径的信息的、经校正的驱动和工具系统数据文件(分别为.rgDX和.rgTX)。例如,经校正的驱动和工具系统数据文件可以包括用工具执行的一个或多个任务的经校正的位置、一个或多个地标的经校正的位置或其他合适的信息。例如,在一些实施方式中,经校正的驱动和工具系统数据文件可以包括由初始位置和速度、最终位置和速度以及工具动作和任务位置中的一个或多个表征的用于移动平台的轨迹段。经校正的驱动和工具系统数据文件还可以包括关于应当如何基于正在执行的任务或缺少任务来控制移动平台的信息。即,经校正的驱动和工具系统数据文件可以包括:移动平台应该被严格控制到段(例如,在标记平面图时)的指示符或其他信息,或者移动平台可以被松散控制(例如,在不执行任何任务的情况下在点之间遍历时)的指示符。然后,远程服务器将经校正的驱动和工具文件发送到移动平台的任务服务器以用于执行。

[0053] 在一些实施方式中,移动平台可以不执行地标提取处理。而是,移动平台可以接收并尝试执行驱动文件(.rgD)和工具文件(.rgT),同时即时进行微小的导航调整。即,移动平台可以采用来自一个或更多个传感器的数据来避开较小的意外障碍物,而不会明显偏离提供给移动平台的整体驱动文件和工具文件中指定的路径。在一些实施方式中,移动平台可以请求地面站规划路线偏差,以在移动平台可以检测到的更大障碍物周围导航。在一些实施方式中,移动平台可以向用户提供检测到的地标与预期地标不匹配的通知,从而可以在远程服务器或地面站级别重新规划地标文件、驱动文件和工具文件。

[0054] 如图4所示,当操作者接受最终经校正的驱动和工具规划时,远程服务器将经校正的文件发送到布置在移动平台上的任务服务器(6)。任务服务器是负责执行验证任务的主要嵌入式软件应用。任务服务器协调运动控制单元和工具控制单元的动作。经校正的驱动文件(.rgDX)被发送到运动控制单元(7)并且由运动控制单元(7)解释,而经校正的工具文件(.rgTX)被发送到工具控制单元(8)并且由工具控制单元(8)解释。运动控制单元(7)包括负责移动平台(包括传感器驱动器 and 数据处理单元、电源管理和运动控制单元、滤波器等)的运动的软件应用。此外,运动控制单元负责管理路径执行和避障。相应地,运动控制单元解释从远程服务器接收到的经校正的驱动文件,并且执行其中的一系列指令以使移动平台沿路径移动以执行一系列任务。工具控制单元包括一组软件组件,该组软件组件用于针对其被配置成执行的任务来操作移动平台携带的工具。工具控制系统通过对致动器、马达、螺线管、压缩机、泵、压力机和/或任何其他合适的致动器的控制来控制附件的微调定位和使用。

[0055] 图4的功能框图描绘了用于执行如上所述的多个不同功能的系统。在一些实施方式中,上述功能中的一些功能可以由不同的部件执行,而其他功能由相同的部件执行。在一些情况下,所描述的计算和功能可以由示例性系统的不同部件来处理。在一些实施方式中,计算上昂贵或者非时间敏感的处理可以由远程服务器执行。例如,地标文件、驱动文件和工具文件的生成可以由远程服务器执行。相应地,可以在移动平台上处理计算成本低或时间敏感的计算。例如,可以在移动平台上执行基于传感器数据和移动部件(例如,马达、轮子等)的低级控制的微小路线调整。对于移动平台而言,时间敏感度可能较低或者计算成本略高的中级调整可由控制站(例如,地面站)执行。例如,控制站可以对驱动和工具文件进行大的路线调整。当然,可以采用任何合适数目和类型的合适部件来执行图4中所示的功能,因为本公开不限于此。

[0056] 根据图4的功能框图,示出了各种部件之间的特定通信。然而,移动平台、远程服务器、地面站、远程计算机或移动装置中的任何一个都可以直接或间接地相互通信以自动调整驱动和工具文件,或者手动干预来调整驱动和工具文件以解决工地与各种文件之间可能存在的差异。因此,本公开在这方面不受限制。

[0057] 图5A描绘了可以被包括在施工现场的设计文件200中的数据的图形表示。一般而言,设计和施工行业使用标准文件格式来交换信息(包括但不限于.rvt、.dwg、.pdf等)。这些文件可以包括现有或规划的施工现场的一个或更多个特征的2D或3D坐标数据。如图5A所示,该文件是高层建筑平面图的2D模型。根据本文中描述的示例性实施方式,远程服务器可以公开一个或多个API,所述API可以接收这些文件中的文件,提取相关信息,并且根据它们与子过程的相关性将提取的数据转换为三个可能的类别:地标数据(.rgL)、驱动系统数据

(.rgD)和工具系统数据(.rgT)。为了从设计文件中提取相关地标数据,远程服务器或另一处理器可以采用机器学习或另一适当技术来识别设计文件中的形状,并且将这些形状标记为潜在地标候选。驱动和工具系统数据可以基于设计文件和任务特定信息来生成。例如,在标记任务的情况下,远程服务器或处理器可以将墙壁的位置识别为将被标记的特征,并且该信息将被合并到驱动和工具系统数据中。地标数据用于在无需全球定位或信标系统的情况下实现、协助和/或改进移动平台的导航。与地标提取相关的信息由可以明确表征环境的数据集组成。例如,可以被识别的地标包括但不限于承包商使用的控制点或控制线、诸如柱、电梯井或承重墙之类的结构元素,和/或在操作时可用的任何其他建筑或工程特征。在一些实施方式中,远程服务器可以采用图案、形状或字符识别来识别设计文件中的元素,这些元素可以是在移动平台的导航中使用的合适地标。除了地标数据之外,远程服务器还可以提取边界或约束信息,这些信息限定了移动平台在施工现场导航时的操作范围。这些约束可以基于移动平台要执行的一个或多个任务的位置和所识别的地标的组合。

[0058] 图5B描绘了从图5A的设计文件200中提取的地标的一个实施方式。根据图5B的实施方式,地标包括可能在使用移动平台之前就位的工地的结构元素或其他特征。特别地,远程服务器识别楼梯间202、柱204和承重墙206。平面图模型中的这些元素用作移动平台的运动控制单元的参考点。地标提取处理还可以识别工地现状与设计文件之间的差异,从而可以基于所识别的地标来识别一个或多个任务和任务位置。如将参照图6A至图6B进一步讨论的,所识别的地标可以至少部分地确定移动平台的路径,这使布置在移动平台上的传感器范围内的地标数目最大化,以提高运动控制单元的准确度。在一些实施方式中,远程服务器还可以提取放置在地板上的一个或多个控制点,当运动控制单元执行路径时,移动平台可以使用这些控制点作为校准点。在许多情况下,控制点在施工行业中常规地用于在施工处理期间进行定位和参考目的,这意味着可能不需要在施工现场中额外放置信标或标记来成功导航施工现场。因此,从设计文件中提取的地标系统数据包含:所有相关地标的位置和签名,这些位置和签名将用于识别环境中的特征;在导航期间使用的所有控制点的位置和标识;以及为了执行识别过程,移动平台在现场要执行的路径。

[0059] 图5C描绘了用于从设计文件200中提取的至少一个工具的约束208的一个实施方式。平台上的运动约束由每个工具操作所需的动作确定。这些约束是由远程服务器从平面图中提取的,并且提供移动平台必须递送其工具的确切位置。根据图5C中所示的约束,移动平台可以配置有标记装置并且被配置成追踪施工现场的布局。约束显示了工具末端在空间中的多个点处的正确位置,在规划移动平台的路径时会考虑到这一点,以优化导航准确度和任务完成效率。在一些情况下,约束或任务可以被直接嵌入在设计文件中,或者在一些实施方式中,远程服务器基于特定的3D或2D设计文件来生成建议的任务和工具约束,因为本公开不限于此。

[0060] 独立于人控制的小规模的常规自主导航系统依赖于有限量的信息,这会随着时间的推移在导航中产生漂移和不准确性。相比之下,本文中的示例性实施方式的移动平台采用至少两个传感器并且生成用于完成任务的路径,这增加了用于准确地符合该路径的可用数据,并且通过选择位于已建立地标的传感器范围内的路径段而减少漂移。图6A中示出了用于优化路径的方法的示意图,图6A描绘了图5B的提取的地标202、204、206以及指定的地标影响区域205。如前所述,远程服务器可以根据设计文件生成驱动系统数据文件(.rgD),

其包含从移动平台在操作期间执行的轨迹相关的绘图中提取的信息。该轨迹由运动规划算法确定,该算法在满足特定于工具的位置约束的同时执行路径优化,这可以在远程服务器上或者在移动平台上运行。优化算法通过增加移动平台上一个或更多个传感器的可用信息来使导航系统的准确度最大化。特别地,路径优化通过地标影响区域来路由路径。即,基于在地标提取步骤中识别出的地标以及机载传感器的参数和/或移动平台上的传感器的有效范围,远程服务器和/或移动平台识别地标影响区域的形状、大小和位置。路径规划算法计算移动平台在施工现场中的轨迹,同时确保:其满足平面图上的位置约束,同时优化地标的可用性以使导航系统根据地标来自我定向。路径规划算法可以基于来自设计文件和地标提取的信息在远程服务器上执行。备选地或附加地,路径规划算法也可以在移动平台上执行,因为本公开不限于此。

[0061] 在一些实施方式中,可以基于导航产生的规划位置准确度来生成路径,该规划位置准确度基于所感知的连续位移与基于一个或更多个地标的位置的感知位置的比较。路径生成可能需要生成多个候选路径,并且为每个候选路径分配成本,从而可以选择低成本路径。可以使用成本函数向移动平台生成的候选路径分配成本。成本函数可以向可能存在较大位置误差的候选路径分配较高的成本。

[0062] 成本函数可以考虑使路径段与位置准确度相关的变量(例如路径段与一个或更多个地标的距离、传感器范围和传感器准确度)来计算移动平台的位置误差。例如,与允许基于一个或更多个可识别的地标(例如经由激光雷达、立体摄像装置、单目摄像装置等)确定全局定位的可比较长度段相比,可以向更专门依赖于(例如来自驱动编码器、光流传感器等的)连续局部定位的路径段分配更高的成本。备选地或附加地,可以在成本函数中使用其他参数,例如指示完成路径的效率的参数,该参数可以基于移动平台遍历路径所需的时间。在一些实施方式中,成本函数基于在执行路径的过程中由移动平台上采用的一个或更多个传感器提供的规划测量误差以及移动平台完成路径的效率和速度的相对益处来分配值。成本可以分配给候选路径的各个段,并且基于该成本函数聚合为候选路径的总成本。因此,随着潜在路径的迭代生成,总成本较低的路径可以被选择并且最终被提供给移动平台来执行。

[0063] 在一些实施方式中,与在地标的传感器范围之外的路径段相比,在地标的传感器范围内的路径段每单位长度的成本可以相对较低,使得导航基于本地定位(例如,来自驱动编码器、光流传感器等)。因此,生成路径以提供高规划位置准确度可以包括:迭代地调整路径以增加设置在一个或更多个地标的阈值距离内的路径的量。图6B中示出了通过这样的路径生成处理生成的示例性路径。在一些实施方式中,优化生成的路径可以包括:提供采用连续位移的路径以远离一个或更多个地标导航到任务的位置,然后一旦任务完成就朝一个或更多个地标返回。

[0064] 一旦路径被优化以增加地标信息的可用性,移动平台10如图6B所示导航优化的路径212。如前所述,移动平台可以读取并执行包括优化路径的驱动系统数据文件(.rgD、.rgDX),运动控制单元可以使用该优化路径使移动平台移动。移动平台还可以读取并执行工具系统数据文件(.rgT、.rgTX),该文件包括与整个平面图上的位置相关联的特定于工具的配置和动作的列表。工具系统数据文件可以由工具控制单元使用以操作一个或更多个工具以在沿优化路径的指定位置处执行任务,例如标记、钻孔、牵引、锤击等。

[0065] 图7描绘了包括运动控制单元(MCU)32和工具控制单元(TCU)34的移动平台的任务

服务器30的一个实施方式的放大示意图。根据图7的实施方式,任务服务器单元是由控制器、处理器、微处理器或用于协调MCU和TCU的动作的其他合适的装置执行的软件应用。如前所述,任务服务器从远程服务器接收经校正的驱动系统文件。这些经校正的驱动系统文件以轨迹命令的形式路由到MCU的路径管理单元(PMU) 33,该MCU的功能将参照图8进一步描述。同时,经校正的工具系统文件由任务服务器从远程服务器接收并且以任务命令的形式路由到TCU的工具管理单元(TMU) 35。TMU保存关于要由各种工具执行的任务和任务位置二者的信息,并且将该信息提供给TCU。TCU执行命令以沿优化路径执行任务。TCU监听来自传感器融合单元的组合里程计读数和/或来自MCU的时间步长。在任务服务器控制算法的每个时间步长处,将移动平台的当前位置与基于位置的命令列表进行比较。如果在该位置处定义了工具动作,则工具控制命令从任务服务器被发送到工具控制单元以执行该命令。因此,任务服务器在时间和空间上协调MCU和TCU的命令的执行,使得移动平台可以在施工现场中可靠地导航和执行任务。

[0066] 图8描绘了用于沿着路径使移动平台移动的运动控制单元(MCU) 32的框图的一个实施方式。如前所述,运动控制单元是嵌入式软件网络,负责控制机器人系统在施工现场中的位置和取向(即姿态),并且采用各种传感器来感知其在工地上的位置。MCU的操作由命令(即从任务服务器或协调控制器接收的命令)触发,以执行给定的轨迹。这些轨迹命令由路径管理单元(PMU) 33接收并且由需要按顺序到达的空间中的一系列位置组成。对于轨迹命令中的每个位置,PMU创建段命令消息并且将段命令消息发送到段运动控制单元(SMOCU) 52。SMOCU被馈送组合里程计信息并且计算速度命令,该速度命令被发送到驱动系统58以使移动平台移动。在一些实施方式中,SMOCU实现选自由常数(K_{pp} 、 K_{pi} 、 K_{vp} 、 K_{vi})表征的比例(P)、比例积分(PI)、比例微分(PD)、比例积分微分(PID)或比例积分速度(PIV)控制器的组中的一个控制器。当然,SMOCU可以实现例如模糊逻辑控制器的任何合适的控制器,因为本公开不限于此。根据图9的实施方式,SMOCU使用的组合里程计信息是根据来自立体摄像装置46、惯性测量单元44、光流传感器42(即,单目摄像装置)和激光雷达单元40的里程计信号的传感器融合生成的,所有这些信号都通过扩展卡尔曼滤波器(EKF) 50馈送并传递到SMOCU。尽管图8中示出了EKF,但是可以采用例如粒子滤波器的任何合适的滤波器,因为本公开不限于此。当然,可以采用任何合适的传感器来向MCU提供信息(例如,轮子旋转编码器、图像识别等),并且使用任何合适的传感器融合技术将信息与其他传感器的信息融合。

[0067] 如图8所示,激光雷达单元40还向运动质量评估单元(MOQEVU) 54进行馈送,MOQEVU不断地评估所执行的运动段的准确度并且提供运动质量数据输出。为此,MOQEVU将来自EKF 50的高频组合里程计信号集成与低频地标比较例程41进行比较。即,将从高频传感器(如光流传感器42、惯性测量单元44和立体摄像装置46)确定的位置与由激光雷达单元或附加立体摄像装置根据地标识别独立确定的位置进行比较。以此方式,里程计的集成与地标比较之间的相关性越高,运动系统的质量就越高。该运动质量评估值被发送到路径学习单元(PLU) 56。接收到的每个元组(运动段和运动质量数据)与PLU中的一组控制器参数相关联。PLU中的参数的调整修改了SMOCU到驱动系统的输出。以此方式,学习单元能够动态地找到段类型之间的相关性以改进每个执行段的运动控制器参数集。在一些实施方式中,每个元组中的信息可以用于改变在EKF或其他滤波器内部的传感器融合处理中使用的权重。即,EKF内部的一个或更多个信号质量阈值可以用于确定排除信号内的任何给定数据点,并且

改变这些阈值可强调沿路径的给定段的选定传感器。例如,当移动平台直线行驶时高度精确的激光雷达传感器在移动平台旋转时可能不太精确。根据该示例,激光雷达的信号质量阈值可以在直线时增加并沿转弯减少。

[0068] 图9描绘了校准移动平台的一个或更多个传感器的运动控制单元32的一个实施方式。即,除了地标的优化之外,路径规划算法还包括规划内或规划外的校准步骤,其中移动平台可以使用平面图上的现有控制点来验证其位置估计准确度并且根据需要重新校准运动控制单元的一个或更多个参数。在图9的实施方式中,校准处理算法在驱动系统数据文件中的预定步骤处执行,但是也可以由运动质量评估单元(MOQEVU) 54触发。校准控制单元(CACU) 60监听由MOQEVU广播的路径质量消息。每当系统的位置准确度值降低到预定阈值之下时,CACU可以向路径管理单元33发送校准请求,路径管理单元33发起校准段的执行。在一些实施方式中,校准段是将移动平台引导到最近的控制点的段。当移动平台到达目标控制点时,面向下方的摄像装置(例如单目摄像装置42)验证移动平台相对于控制点的位置,并且CACU将通过传感器测距生成的移动平台的位置与目标控制点的实际存储位置进行比较。以这种方式,CACU可以产生一组经调整的控制参数,该参数被发送到段运动控制单元(SMOCU) 52以提高SMOCU命令驱动系统58使移动平台移动时导航的准确度。

[0069] 图10是包括完整驱动系统的移动平台1010的另一实施方式的俯视示意图,该完整驱动系统使移动平台能够在2D平面中沿任何方向移动并且到达施工现场的末端。完整驱动系统允许机器人系统将安装在移动平台上的工具定位在与施工现场的末端齐平的区域(例如角落)中,否则可能需要多次移动才能到达该区域或无法接近该区域。图10的完整驱动系统包括四个轮子300A、300B、300C、300D,每个轮子耦接到相应的致动器304A、304B、304C、304D。四个轮子中的每一个在可独立旋转的轮子支撑件302A、302B、302C、302D上旋转。每个轮子及其相应的致动器经由可旋转的轮子支撑件302A、302B、302C、302D耦接到底盘1012。每个轮子支撑件耦接到轴致动器(例如,参见图2至图3),该轴致动器被配置成以360度独立地调整(即转动)每个轮子的轴,以便移动平台可以在三个自由度上自由移动。这种布置在2D平面环境中提供了完全的运动灵活性,并且使得能够执行非常复杂的运动模式以完成某些任务。此外,图10的布置确保可以采用驱动编码器来帮助确定移动平台的位置。由于轮子独立转动,因此可以避免轮子与下垫面之间的滑动,从而提高驱动编码器计算位置的准确度。

[0070] 图11是打印系统400的示例性实施方式的示意图。如上所述,本文中描述的示例性实施方式的移动平台可以具有用于在工地处执行一个或更多个任务的一个或更多个工具包或工具。打印系统400是一种这样的工具包,其被配置成将包括文本在内的建筑和工程信息直接标记到施工现场的未完成地板表面上。该打印系统可以被配置成安装到移动平台(例如,参见图1)并且携带使用在整个施工处理期间保持可见的耐用物质准确和精确地标记地板表面所需的设备和部件。

[0071] 如图11所示,打印系统400包括至少一个存储器402、至少一个空气压缩机或泵404、电子控制系统(ECS) 406和至少一个打印头410,所有这些部件都与管、软管、管道、阀、连接器、布线、开关等(在图11中由歧管408举例说明)适当地互连。存储器402可以容纳足够体积的标记流体,以用于使打印工具包在期望的工作时段进行操作。存储器可以以将标记流体递送到控制和执行期望标记所需的下一个部件的方式连接到打印系统的其余部分(上

游和下游二者)。在一些实施方式中,储存器在罐中容纳例如颜料墨水的标记流体,该罐可以向大气开放并且可以手动地从标记流体的散装容器填充,但是如果需要,在关闭时储存器能够被加压。在一些实施方式中,储存器的顶部可以用管、软管或管道连接到空气压缩机或气泵404,从而允许空气压缩机或气泵对储存器顶部的在标记流体上方的顶部空间加压,因此对标记流体施加正压并且将标记流体馈送通过供墨管、软管或管道,该供墨管、软管或管道将储存器的底部连接到一个或多个打印头410。在一些实施方式中,储存器可以保持向大气开放,用底部的管、软管或管道连接到泵,该泵能够从储存器中抽取流体并且通过供墨管、软管或管道将流体向下游馈送到打印头。

[0072] 根据图11的实施方式,每个打印头410被配置成将标记流体沉积到打印表面上。在一些实施方式中,打印头可以由连接到储存器402或泵404的供墨管、将标记流体分配到打印头内的关键部件的歧管以及至少一个压电泵形成,该压电泵在操作时将少量的标记流体置换成液滴形式。压电泵可以利用自然平坦的盘,但是在启动时变形为两个位置即拉动位置或推动位置之一。在拉动位置处,供墨管和歧管中的流体的正压促使标记流体进入压电室。在推动位置处,液滴被压出压电室并沉积在地板表面上。在一些实施方式中,使用压电泵阵列,允许液滴同时沉积在列、行、矩阵、对角线或其任何组合中。这种阵列允许标记复杂的形状和图案,包括文本。

[0073] 在一些实施方式中,移动平台包括打印系统。该打印系统可以包括至少一个储存器、至少一个泵以及设置成阵列的多个打印头。至少一个泵和多个打印头可以被配置成允许每个打印头以液滴形式分配少量标记流体。打印系统还可包括具有处理器的电子控制系统,该处理器被配置成执行存储在存储器中的计算机可读指令。电子控制系统可以被配置成命令多个打印头和至少一个泵以列、行、矩阵、对角线或其任何组合形式沉积标记流体的液滴。电子控制系统还可以与移动平台的控制单元通信以接收位置和速度信息以协调标记流体的沉积。在一些实施方式中,移动平台和打印系统可以允许对文本或其他复杂的形状或图案的标记。在一些实施方式中,标记流体在移动平台运动时沉积。

[0074] 根据图11的实施方式,由打印系统400提供的打印能力,特别是打印文本的能力,允许打印系统400在施工现场的未完成的地板上实现唯一的数字复制信息。当部署在本文中描述的示例性实施方式的移动平台上时,打印系统400可以标记各种建筑系统、部件和设备的预期位置,这允许承包商准确地安装他们各自的材料。虽然目前安装位置是用点和线手工标记的,但是打印系统复杂的标记功能(包括文本)可以用于区分交易、传达非直观的安装说明(即表示材料尺寸、识别特定零件或设备、详述配置或取向,以及指定高于地板的安装高度)以及识别预制零件编号。随着预制施工技术变得更加普遍,可能需要传达预制零件编号的能力。因此,图11的打印系统与本文中描述的示例性实施方式的移动平台一起提供了传达确切的安装位置、确切的零件编号以及确切的安装取向和配置的能力,允许承包商在预期的地方快速且正确地安装部件。

[0075] 根据图11所示的实施方式,ECS 406可以与移动平台的任务控制器接口,以接收用于激活在地板上放置准确标记所需的特定动作的触发。此外,打印系统可以通过相同的接口向移动平台提供反馈,以提供关于打印机性能和状态的实时信息。以此方式,打印系统400可以是自包含系统,该系统基于与移动平台定时、位置或者认为必要的其他信号相关的一些外部输入来使释放标记流体的处理自动化。

[0076] 在一些实施方式中,电子控制系统包括用户接口、机载处理器、与移动平台的网络连接以及与基于位置的传感器412的连接。用户接口可以允许在系统上执行动作,同时网络连接允许自动化处理执行相同的功能。与移动平台的网络连接也可以用于提供基于位置的传感数据,但是可以替代地集成其他传感器。在这样的配置中,用户接口和移动平台网络接口二者都用于执行与打印相关的动作,例如打印处理的初始化、配置、激活和终止动作。初始化可以包括加载预定义的打印任务、指定动态分配的文本、标记、符号和其他要打印内容的配置,触发打印系统执行打印的激活,以及完成打印处理的终止——无论是以预期的方式还是在紧急情况下。当自主运行时,移动平台上的更高级别控制器可以基于任务文件(.rgT)、驱动文件、工具文件或者包括可执行指令的其他适当数据结构中指定的定时来激活每个触发器。此外,打印系统可以通过执行任务文件向移动平台提供反馈,使得打印系统提供关于打印状态的有用信息(例如,完成百分比、遗漏位置、标记液位等),以协助机载控制器根据需要协调和执行进一步的操作。反馈可以包括关于诸如以下的信息:当前打印作业和配置,以允许操作者跟踪打印性能;液位,以允许移动平台知道何时无法执行进一步打印;以及故障状态,以提醒移动平台和操作者二者注意某些故障系统。

[0077] 根据图11的实施方式,自包含打印系统可以基于传感器输入(例如,来自传感器412)提供用于打印的闭环机制。由于每个压电泵能够释放或不释放标记流体,因此可以基于运行时间、移动平台位置、移动平台速度或者其他可以测量的参数根据时序来触发每个泵的激活。在一些实施方式中,可以在没有由打印系统外部的计算机或处理器执行的控制功能的情况下执行对每个泵的控制。因此,打印系统可以是模块化的并且可以容易地与可以在移动平台上采用的其他工具包或系统互换。

[0078] 可以以许多方式中的任何方式来实现本文中描述的技术的上述实施方式。例如,可以使用硬件、软件或其组合来实现实施方式。当以软件被实现时,软件代码都可以在无论被设置在单个计算机中还是被分布在多个计算机之间的任何适当的处理器或处理器的集合上被执行。这样的处理器可以被实现为集成电路,在集成电路部件(包括本领域已知的市售集成电路部件)中具有以诸如CPU芯片、GPU芯片、微处理器、微控制器或协处理器命名的一个或更多个处理器。可替代地,处理器可以在诸如ASIC的定制电路系统或者对可编程逻辑器件进行配置而产生的半定制电路系统中被实现。作为又一替选方案,处理器都可以是较大的电路或半导体装置(无论是市售的、半定制的还是定制的)的一部分。作为具体示例,一些市售的微处理器具有多个核,使得这些核中的一个或子集可以构成处理器。但是,可以使用任何适当格式的电路系统来实现处理器。

[0079] 此外,应当理解,计算机可以以多种形式中的任何形式(例如机架安装型计算机、台式计算机、膝上型计算机或平板计算机)来实施。另外,计算机可以被嵌入在通常不被认为是计算机但是具有适当的处理能力的装置中,其包括个人数字助理(PDA)、智能电话或任何其他适当的便携式或固定电子装置。

[0080] 此外,计算机可以具有一个或更多个输入和输出装置。除了别的功能以外,这些装置可以用于呈现用户接口。可以用于提供用户接口的输出装置的示例包括用于输出的视觉呈现的打印机或显示屏和用于输出的听觉呈现的扬声器或其他声音生成装置。可以用于用户接口的输入装置的示例包括键盘和诸如鼠标的指示装置、触摸板和数字化平板。作为另一示例,计算机可以通过语音识别或以其他听觉格式来接收输入信息。

[0081] 这样的计算机可以通过任何适当的形式的一个或更多个网络而互连,所述一个或更多个网络包括局域网或广域网,例如企业网或因特网。这样的网络可以基于任何适当的技术并且可以根据任何适当的协议进行操作,而且可以包括无线网络、有线网络或光纤网络。

[0082] 此外,本文概述的各种方法或过程可以被编码为软件,该软件能够在采用多种操作系统或平台中的任一种的一个或更多个处理器上执行。另外,这样的软件可以使用多种适当的编程语言和/或编程工具或脚本工具中的任一种被编写,并且还可以被编译为可执行的机器语言代码或在框架或虚拟机上执行的中间代码。

[0083] 在这方面,本文中描述的实施方式可以被实施为编码有一个或更多个程序的计算机可读存储介质(或更多个计算机可读介质)(例如,计算机存储器、一个或更多个软盘、致密盘(CD)、光盘、数字视频盘(DVD)、磁带、闪存、现场可编程门阵列或者其他半导体器件中的电路配置或其他有形计算机存储介质),当所述一个或更多个程序在一个或更多个计算机或其他处理器上被执行时,执行实现以上讨论的各种实施方式的方法。如根据前述示例明显的是,计算机可读存储介质可以将信息保留达足够时间,以提供非暂态形式的计算机可执行指令。这样的—个或更多个计算机可读存储介质可以是可传输的,使得存储在其上的一个或更多个程序可以被加载至一个或更多个不同的计算机或其他处理器上,以实现如以上所讨论的本公开内容的各个方面。如本文所使用的,术语“计算机可读存储介质”仅涵盖可以被认为是制造物(即,制品)或机器的非暂态计算机可读介质。可替代地或另外地,本公开内容可以被实施为除了计算机可读存储介质以外的计算机可读介质(例如传播信号)。

[0084] 本文在一般意义上使用术语“程序”或“软件”来指代可以被用来对计算机或其他处理器进行编程以实现如以上讨论的本公开内容的各个方面的任何类型的计算机代码或计算机可执行指令集。另外,应当理解,根据该实施方式的一个方面,当被执行时执行本公开内容的方法的一个或更多个计算机程序不需要驻留在单个计算机或处理器上,而是可以以模块化方式分布在许多不同的计算机或处理器之间,以实现本公开内容的各个方面。

[0085] 计算机可执行指令可以呈很多形式,例如由一个或更多个计算机或其他装置执行的程序模块。通常,程序模块包括执行特定任务或者实现特定的抽象数据类型的例程、程序、对象、组件、数据结构等。通常,在各种实施方式中,程序模块的功能可以根据需要被组合或者分布。

[0086] 此外,数据结构可以以任何合适的形式存储在计算机可读介质中。为简单说明起见,数据结构可以显示为具有通过数据结构中的位置而相关的字段。这种关系同样可以通过为字段分配存储空间来实现,该存储空间具有传达字段之间的关系的计算机可读介质中的位置。然而,可以使用任何合适的机制来在数据结构的字段中的信息之间建立关系,包括通过使用指针、标签或者在数据元素之间建立关系的其他机制。

[0087] 本公开内容的各个方面可以单独使用、组合使用,或者以前述描述的实施方式中未具体讨论的各种布置来使用,并且因此其应用不限于在前述描述中阐述或在附图中示出的部件的细节和布置。例如,一个实施方式中描述的各方面可以以任何方式与其他实施方式中描述的方面组合。

[0088] 此外,本文描述的实施方式可以体现为方法,已经提供了该方法的示例。作为该方法的一部分进行的动作可以以任何合适的方式排序。因此,可以构建实施方式,其中以与所

示的不同的顺序执行动作,这可以包括同时执行一些动作(即使在说明性实施方式中被示出为顺序的动作)。

[0089] 此外,一些动作被描述为由“用户”或“操作者”采取。应当理解,“用户”或“操作者”不需要是单个个体,并且在一些实施方式中,归因于“用户”或“操作者”的动作可以由一组个体执行和/或由个体结合计算机辅助工具或其他机构来执行。

[0090] 示例

[0091] 在一些实施方式中,用于在施工现场中导航的移动平台包括:驱动系统,其被配置成使移动平台在三个自由度上移动;至少一个致动器,其操作地耦接到驱动系统并且被配置成在激活时移动驱动系统,以使移动平台在三个自由度中的至少一个自由度上相应地移动;至少一个工具,其可操作成执行工地中的一个或更多个任务;以及控制器,该控制器具有运动控制单元和工具控制单元,该运动控制单元被配置成选择性地激活或停用至少一个致动器,该工具控制单元被配置成选择性地激活或停用至少一个工具以执行一个或更多个任务。

[0092] 在一些实施方式中,至少一个工具选自标记器、夹持器、机械臂、旋转工具、往复工具、轨道工具和冲击工具的组中。在一些实施方式中,至少一个工具包括标记系统,该标记系统被配置成标记工地上的线和/或文本。在一些实施方式中,线和/或文本指示在工地中安装至少一件设备的指令。

[0093] 在一些实施方式中,完整驱动器包括四个轮子,其中至少一个致动器包括四个致动器,并且其中,四个致动器中的每一个耦接到至少四个轮子中的一个。在一些实施方式中,四个轮子中的第一轮子和第二轮子可以绕第一轴旋转,四个轮子中的第三轮子和第四轮子可以绕垂直于第一轴的第二轴旋转。在一些实施方式中,四个轮子中的第一轮子可以绕第一轴旋转,四个轮子中的第二轮子可以绕第二轴旋转,四个轮子中的第三轮子可以绕第三轴旋转,并且四个轮子中的第四轮子可以绕第四轴旋转,其中,第一轴、第二轴、第三轴和第四轴可以独立移动。

[0094] 在一些实施方式中,移动平台还包括选自驱动系统编码器、立体摄像装置、惯性测量单元、光流传感器和激光雷达单元的组中的至少一个传感器,其中,该至少一个传感器被配置成向运动控制单元提供组合导航信息,其中,运动控制单元基于组合导航信息选择性地激活或停用至少一个致动器。

[0095] 在一些实施方式中,控制器还包括任务服务器,该任务服务器被配置成控制运动控制单元和工具控制单元,其中,任务服务器包括存储用于操作运动控制单元和工具控制单元的任务命令的计算机存储介质。在一些实施方式中,运动控制单元被配置成PID或PIV控制器,其中,运动控制单元基于任务命令选择性地激活或停用至少一个致动器。在一些实施方式中,工具控制单元被配置成基于任务命令选择性地激活或停用至少一个工具。在一些实施方式中,移动平台还包括被配置成与远程服务器通信的无线发射器,其中,任务服务器被配置成从远程服务器接收任务命令。

[0096] 在一些实施方式中,控制器被配置成处理至少一个传感器的输出以检测施工现场中的一个或更多个地标,并且其中,任务命令包括地标的位置。在一些实施方式中,控制器被配置成处理至少一个传感器的输出以检测建筑物中作为地标的-一个或更多个承载结构元素。在一些实施方式中,任务命令沿着路径引导移动平台,运动控制单元基于路径选择性

地激活或停用至少一个致动器,并且该路径被配置成:当至少一个致动器被选择性地致动或停用时,使由至少一个传感器检测到的地标的数目最大化。在一些实施方式中,控制器还包括运动质量评估单元,该运动质量评估单元被配置成将任务命令中的地标的位置与由至少一个传感器检测到的地标进行比较。

[0097] 在一些实施方式中,至少一个传感器被配置成检测设置在工地中的一个或多个控制点,其中,一个或多个控制点存在于施工现场中,并且其中,任务命令包括一个或多个控制点的位置。在一些实施方式中,一个或多个控制点是由测量员放置在工地中的标记。

[0098] 在一些实施方式中,移动平台还包括编码有计算机可执行指令的非暂态计算机可读介质,该指令当由运动质量评估单元执行时,基于任务命令中的地标的位置与由至少一个传感器检测到的地标的位置的比较来确定位置准确度值,其中,当位置准确度值下降到阈值位置准确度值之下时,运动控制单元被配置成选择性地激活和停用至少一个致动器以使移动平台移动到一个或多个控制点之一。在一些实施方式中,控制器还包括校准控制单元,该校准控制单元被配置成基于检测到的一个或多个控制点来调整运动控制单元的一个或多个参数。在一些实施方式中,移动平台还包括位于施工现场处的计算机站,该计算机站包括图形用户接口,该图形用户接口被配置成接收操作者输入,该操作者输入指定对任务命令的修改、选择性地激活或停用至少一个致动器、和/或选择性地激活或停用至少一种工具。

[0099] 尽管已经结合各种实施方式和示例描述了本教导,但是并不意在使本教导限于这样的实施方式或示例。相反,如本领域技术人员将理解的,本教导涵盖各种备选方案、修改和等同物。因此,前面的描述和附图仅作为示例。

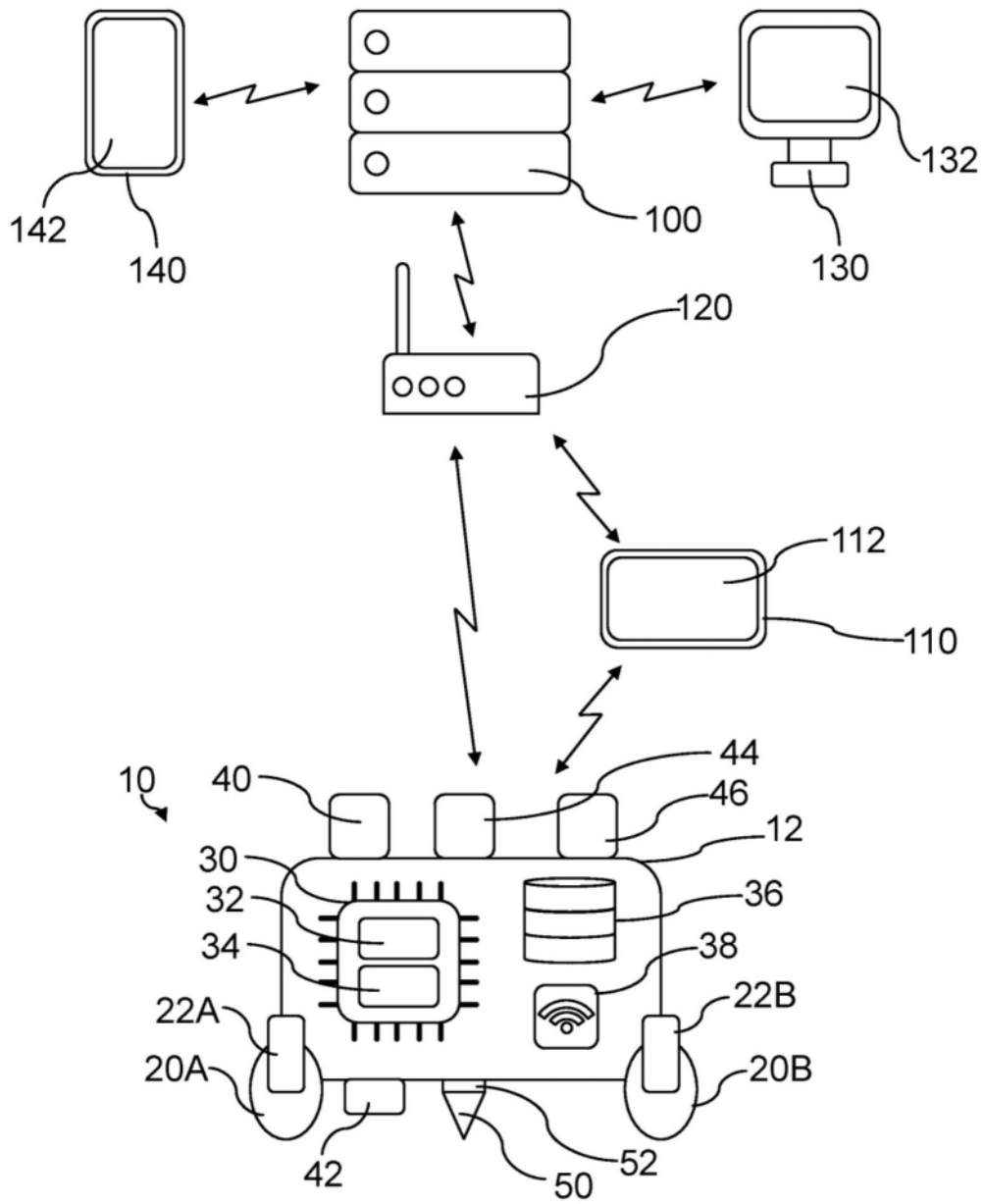


图1

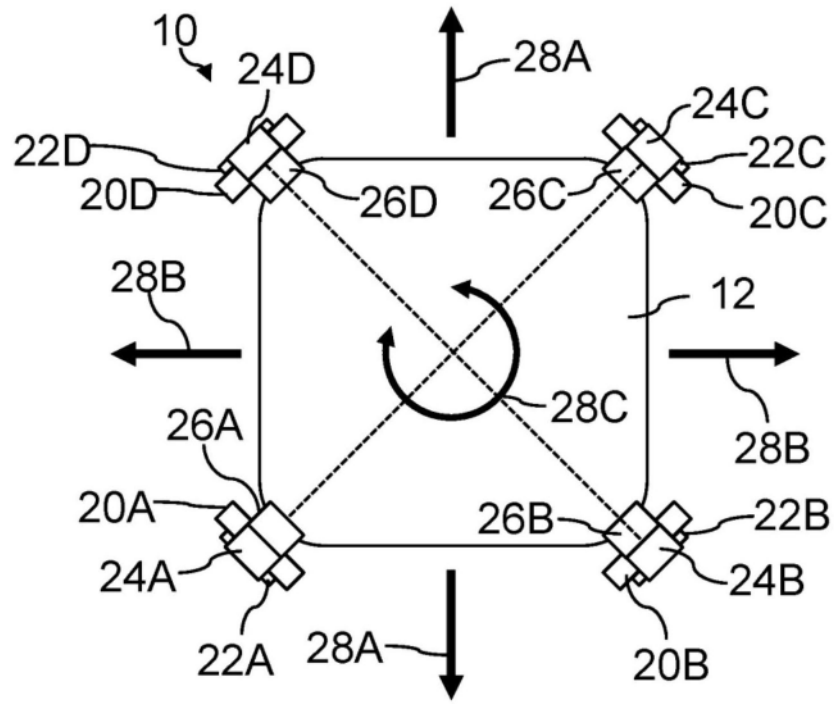


图2

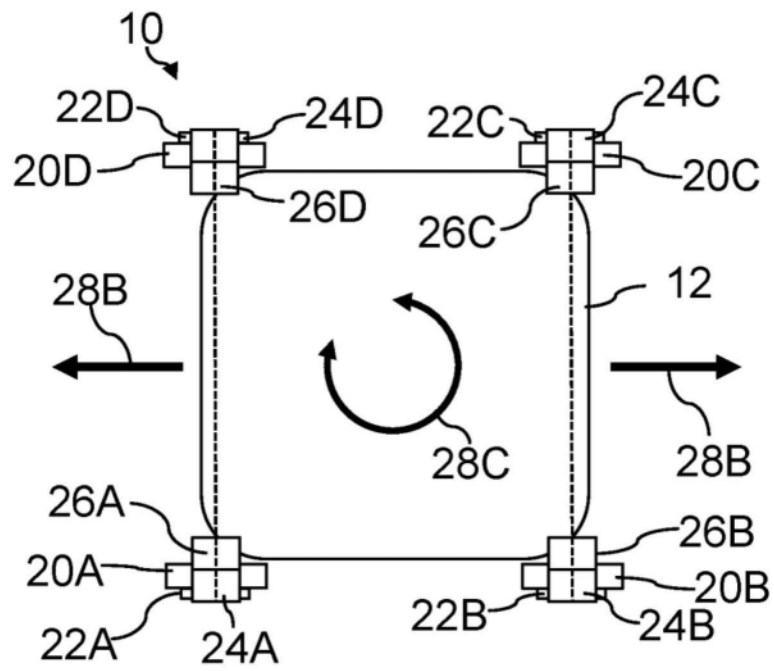


图3

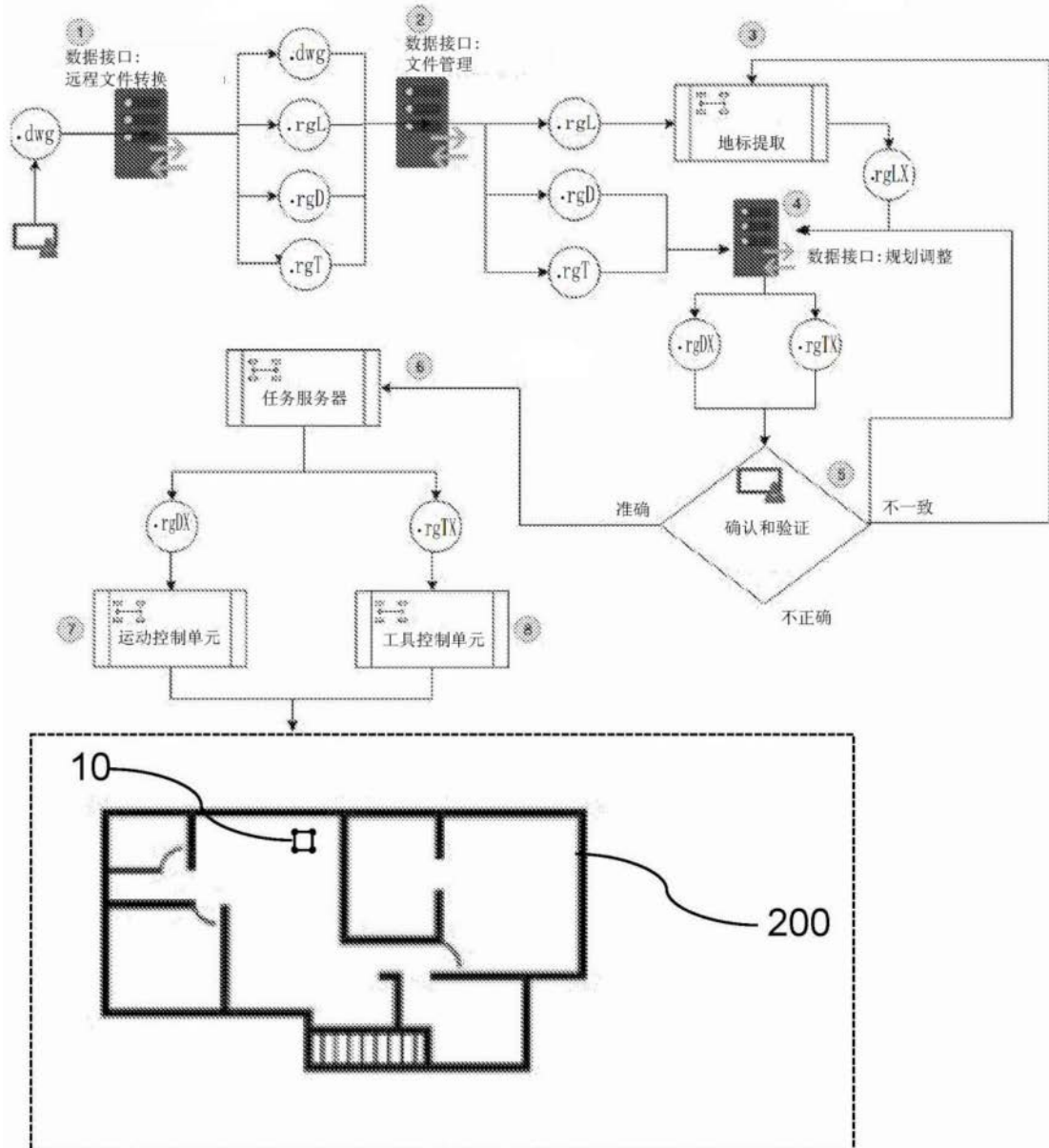


图4

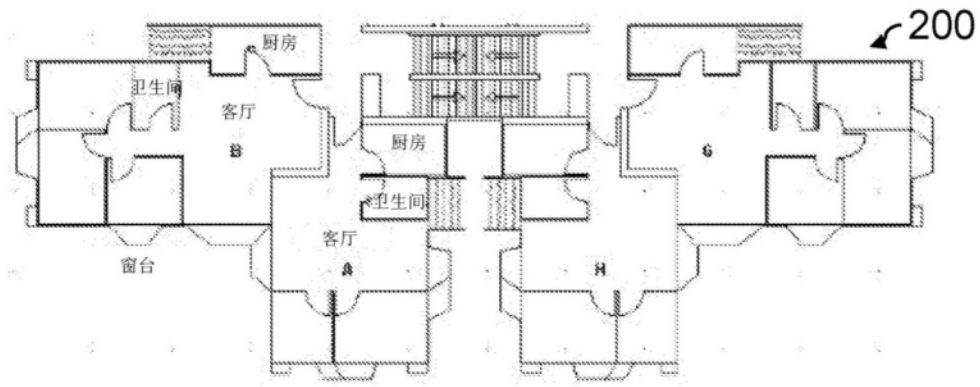


图5A

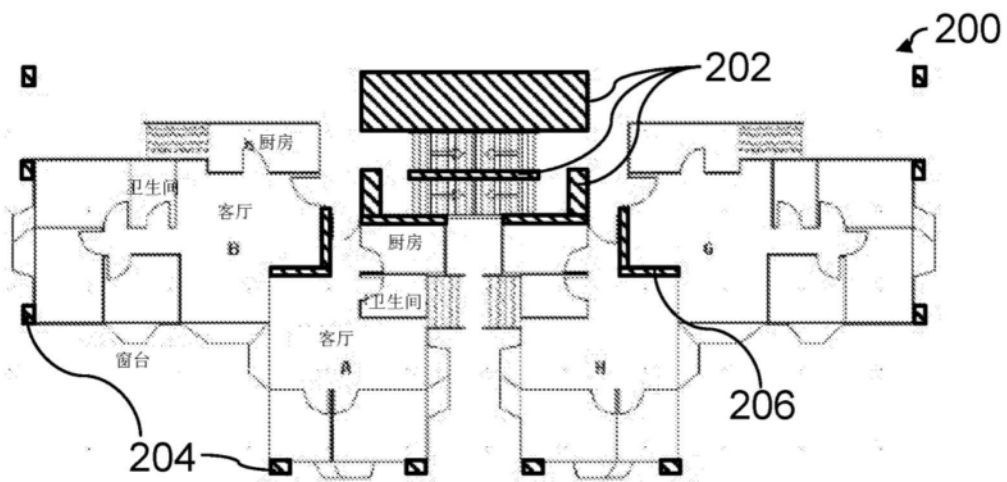


图5B

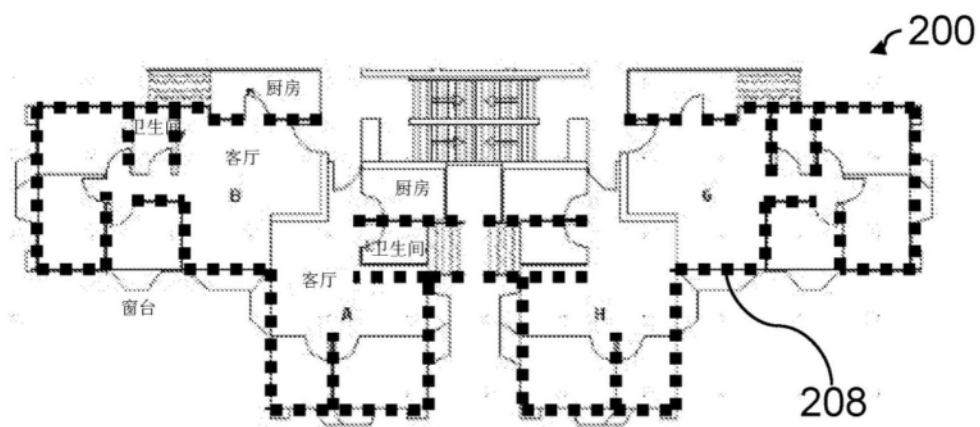


图5C

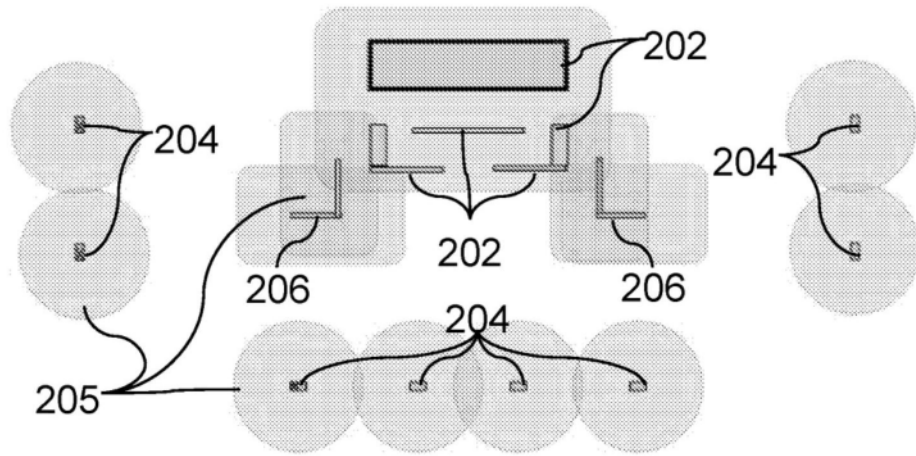


图6A

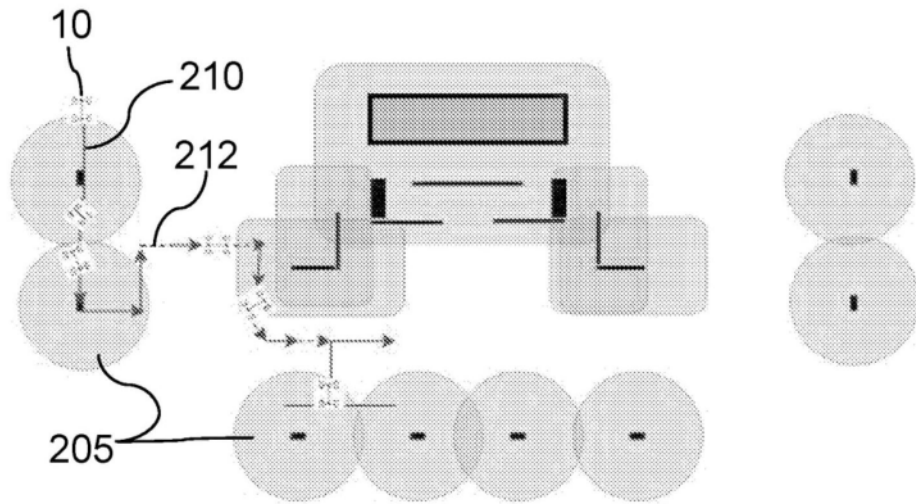


图6B

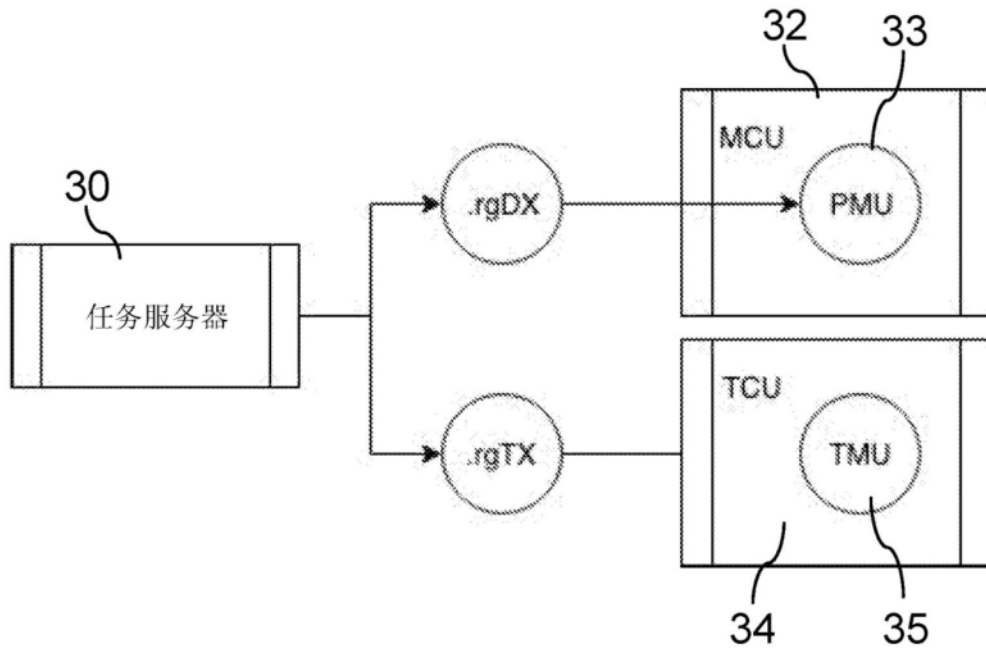


图7

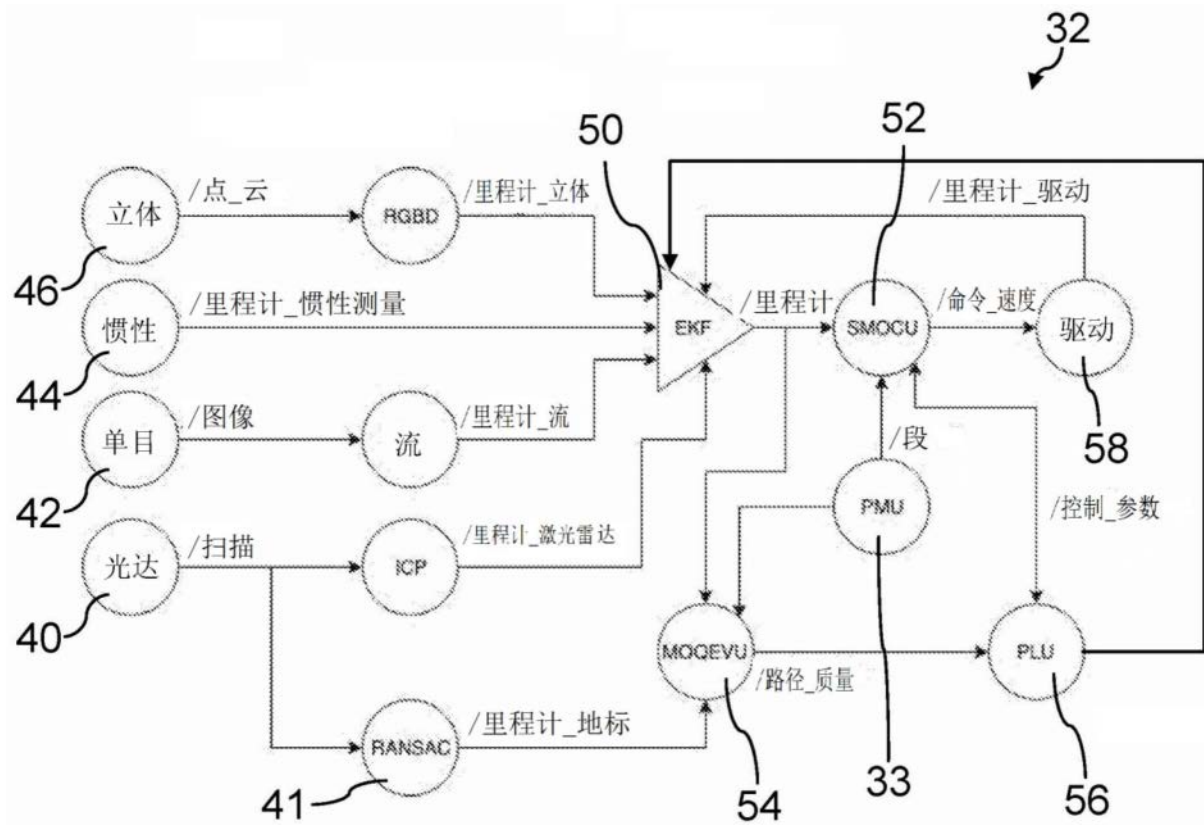


图8

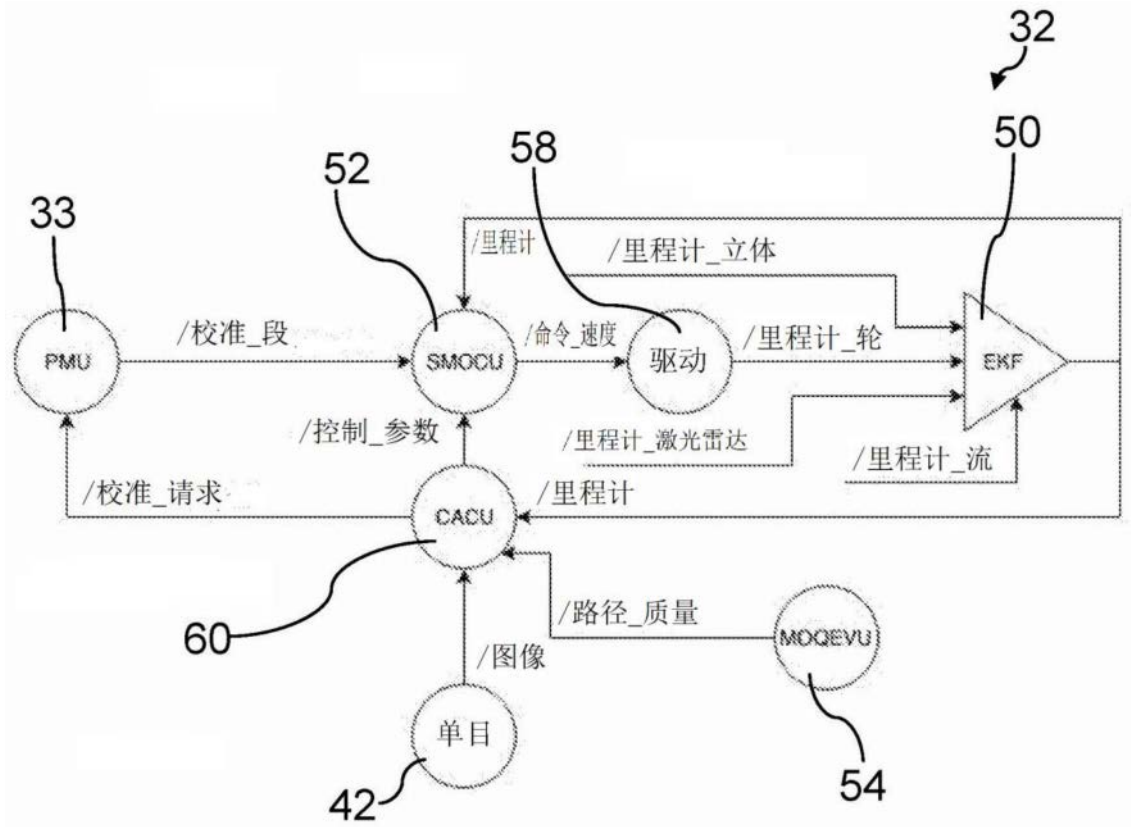


图9

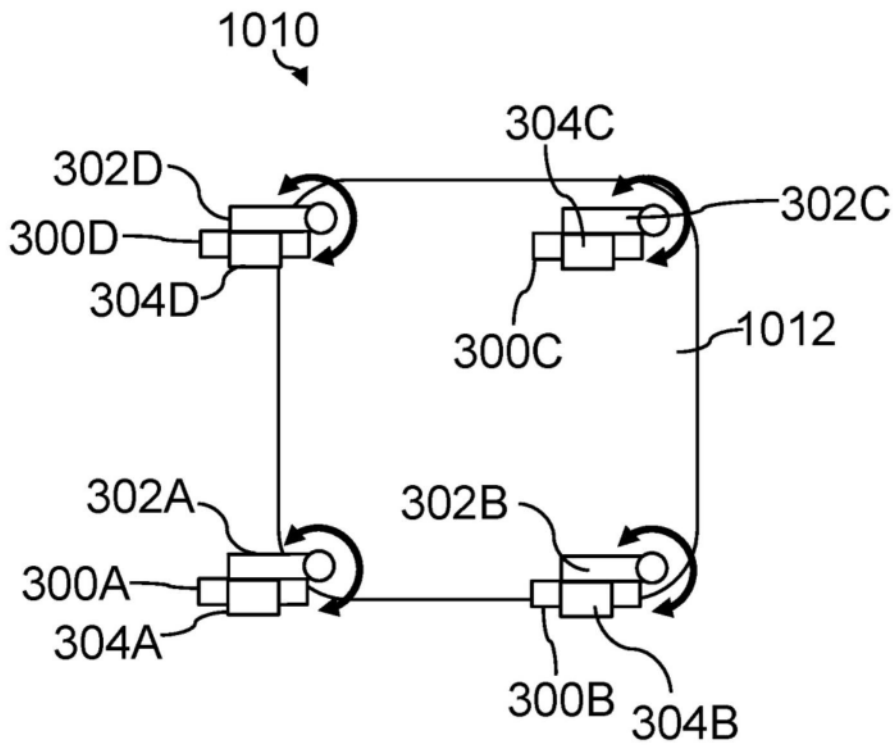


图10

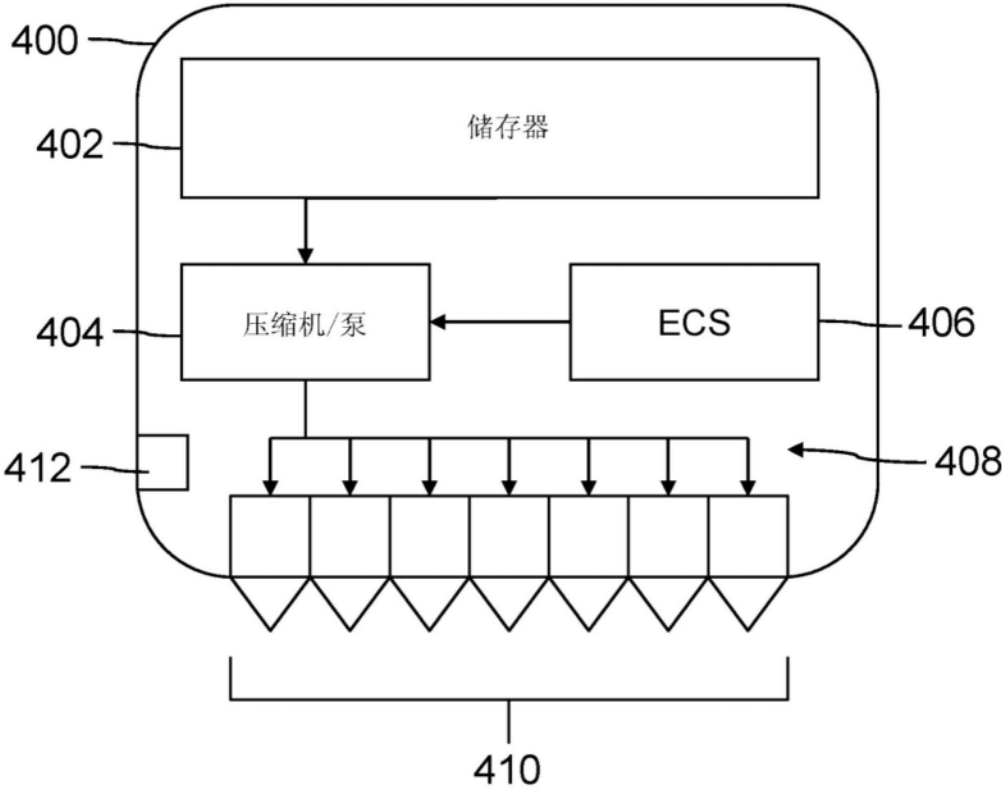


图11