



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111213098 B

(45) 授权公告日 2024.03.15

(21) 申请号 201880066598.0

(22) 申请日 2018.08.16

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111213098 A

(43) 申请公布日 2020.05.29

(30) 优先权数据  
2017903312 2017.08.17 AU

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.04.13

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/AU2018/050868 2018.08.16

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/033166 EN 2019.02.21

(73) 专利权人 快砖知识产权私人有限公司  
地址 澳大利亚西澳大利亚州

(72) 发明人 马克·约瑟夫·皮瓦茨

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理有限公司 11262  
专利代理师 陆建萍 杨明钊

(51) Int.Cl.  
G05B 19/19 (2006.01)  
B25J 9/16 (2006.01)  
B25J 5/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2003208302 A1, 2003.11.06  
US 2011043515 A1, 2011.02.24  
CN 106607907 A, 2017.05.03  
US 2015082740 A1, 2015.03.26  
CN 1985773 A, 2007.06.27  
CN CN103273497 A, 2013.09.04  
CN CN103170973 A, 2013.06.26  
US 2017095382 A1, 2017.04.06

审查员 师长义

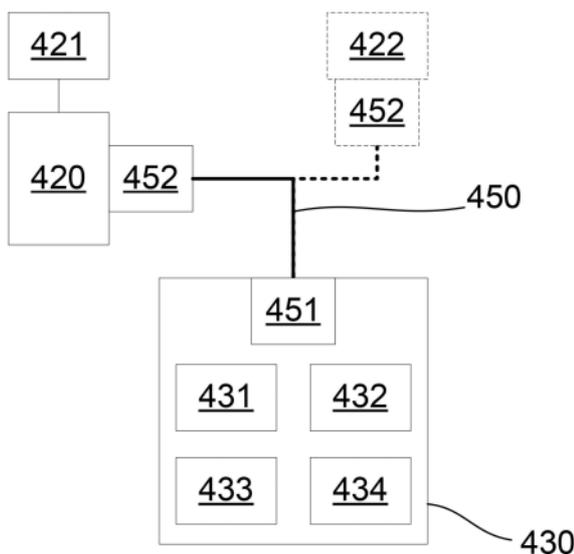
权利要求书8页 说明书30页 附图18页

## (54) 发明名称

用于交互系统的通信系统

## (57) 摘要

一种用于在物理环境内执行交互的系统,该系统包括:机器人,其具有经历相对于环境的运动的机器人底座和安装到机器人底座的机器人臂,机器人臂包括安装在其上的末端执行器;通信系统,其包括现场总线网络;跟踪系统,其包括跟踪底座和跟踪目标,跟踪底座被定位于环境中并连接到现场总线网络,跟踪目标安装到机器人的部件,其中跟踪底座被配置为检测跟踪目标,以允许跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向被确定;以及控制系统,其经由现场总线网络与跟踪系统通信,以确定跟踪目标的相对定位和/或定向,并根据跟踪目标的相对定位和/或定向控制机器人臂。



1. 一种用于在物理环境内执行交互的系统,所述系统包括:
  - a) 机器人,所述机器人具有:
    - i) 机器人底座,其安装在吊臂上,其中,所述机器人底座经历相对于所述环境的移动;
    - ii) 机器人臂,所述机器人臂被安装到所述机器人底座,所述机器人臂包括安装在所述机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;
  - b) 通信系统,所述通信系统包括现场总线网络;
  - c) 跟踪系统,所述跟踪系统包括:
    - i) 跟踪底座,所述跟踪底座被定位于所述环境中并连接到所述现场总线网络;以及,
    - ii) 跟踪目标,所述跟踪目标被安装到所述机器人的部件,其中,所述跟踪底座被配置为检测所述跟踪目标,以允许所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向被确定;以及,
  - d) 控制系统,所述控制系统:
    - i) 当所述机器人底座经历移动时,经由所述现场总线网络与所述跟踪系统通信,以确定所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向;以及,
    - ii) 经由所述现场总线网络根据所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向控制所述机器人臂;以及
    - iii) 经由所述现场总线网络根据所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向控制所述吊臂。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述现场总线网络还被耦合到:
  - a) 机器人臂致动器;
  - b) 机器人底座致动器;
  - c) 一个或更多个末端执行器致动器;以及,
  - d) 一个或更多个传感器。
3. 根据权利要求1或权利要求2所述的系统,其中,所述通信系统包括:
  - a) 现场总线主设备;以及,
  - b) 一个或更多个现场总线从设备,所述一个或更多个现场总线从设备连接到所述现场总线主设备。
4. 根据权利要求3所述的系统,其中,所述控制系统作为现场总线主设备连接到所述现场总线网络,并且其中,所述跟踪系统作为至少一个现场总线从设备连接到所述现场总线网络。
5. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统是激光跟踪系统。
6. 根据权利要求5所述的系统,其中:
  - a) 所述跟踪底座包括:
    - i) 跟踪头,所述跟踪头具有:
      - (1) 辐射源,所述辐射源被布置成向所述跟踪目标发送辐射束;
      - (2) 底座传感器,所述底座传感器感测反射的辐射;以及,
    - ii) 头部角度传感器,所述头部角度传感器感测所述跟踪头的定向;以及,
  - b) 所述跟踪目标包括反射器,所述反射器将所述辐射束反射到所述跟踪底座。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述控制系统:

a) 经由所述现场总线网络从所述跟踪底座接收指示来自所述底座传感器和头部角度传感器的测量结果的传感器数据;以及,

b) 使用所述传感器数据确定所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向。

8. 根据权利要求7所述的系统,其中,对于所述控制系统的每个时钟周期,所述控制系统:

a) 从所述跟踪底座接收所述传感器数据;

b) 确定所述跟踪目标的定位和/或定向;和

c) 至少部分地基于所确定的定位向所述机器人臂发送控制信号。

9. 根据权利要求6至8中的任一项所述的系统,其中,所述跟踪底座包括至少一个跟踪头致动器,所述至少一个跟踪头致动器控制跟踪头定向,并且其中,所述控制系统响应于所述跟踪目标的移动来控制所述至少一个跟踪头致动器,使得所述跟踪头跟踪所述跟踪目标。

10. 根据权利要求6所述的系统,其中,所述跟踪目标连接到所述现场总线网络。

11. 根据权利要求10所述的系统,其中,所述跟踪目标被配置成跟踪所述跟踪底座。

12. 根据权利要求11所述的系统,其中,所述跟踪底座和跟踪目标中的至少一者作为现场总线从设备经由所述现场总线网络被连接。

13. 根据权利要求12所述的系统,其中,所述跟踪目标包括:

a) 目标传感器,所述目标传感器感测所述辐射束;以及,

b) 目标角度传感器,所述目标角度传感器感测所述目标的定向。

14. 根据权利要求13所述的系统,其中,所述控制系统:

a) 经由所述现场总线网络从所述跟踪目标接收指示来自所述目标传感器和目标角度传感器的测量结果的传感器数据;以及,

b) 使用所述传感器数据确定所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定向。

15. 根据权利要求14所述的系统,其中,对于所述控制系统的每个时钟周期,所述控制系统:

a) 从所述跟踪目标接收所述传感器数据;

b) 确定所述跟踪目标的定向;和

c) 至少部分地基于所确定的定向来向所述机器人臂发送控制信号。

16. 根据权利要求11至15中的任一项所述的系统,其中,所述跟踪目标包括至少一个跟踪目标致动器,所述至少一个跟踪目标致动器控制跟踪目标定向,并且其中,所述控制系统响应于所述跟踪目标的移动来控制所述至少一个跟踪目标致动器,使得所述跟踪目标跟踪所述跟踪底座的头部。

17. 根据权利要求12所述的系统,其中,所述跟踪系统还包括跟踪系统控制器,所述跟踪系统控制器作为另一现场总线从设备连接到所述现场总线网络。

18. 根据权利要求17所述的系统,其中,所述跟踪系统控制器使用从来自一个或多个跟踪底座传感器和一个或多个跟踪目标传感器的信号导出的数据来:

a) 控制所述跟踪底座和跟踪目标以执行相互跟踪;以及,

b) 确定所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向,并且其中,所述跟踪系统控制器经由所述现场总线网络与所述跟踪底座和跟踪目标中的至少一者通信。

19. 根据权利要求18所述的系统,其中,所述跟踪系统控制器在以下中的一项中被提供:

- a) 所述跟踪底座;
- b) 所述跟踪目标;以及,
- c) 控制箱,所述控制箱远离所述跟踪系统。

20. 根据权利要求18或权利要求19所述的系统,其中,所述跟踪系统控制器:

- a) 接收目标传感器数据;
- b) 接收指示以下项的底座传感器数据:
  - i) 所述跟踪头的定向;以及,
  - ii) 在所述跟踪目标和所述跟踪底座之间的距离;
- c) 使用所述底座传感器数据和所述目标传感器数据来计算所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和定向;以及,
- d) 经由所述现场总线网络向所述控制系统提供指示所述跟踪目标的定位和定向的定位和定向数据。

21. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统和控制系统的操作是经由所述现场总线网络时间同步的。

22. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统以以下频率中的至少一个频率测量所述跟踪目标的定位和/或定向:

- a) 至少10Hz;
- b) 至少20Hz;
- c) 至少30Hz;
- d) 至少100Hz;
- e) 至少300Hz;
- f) 至少1kHz;
- g) 至少2kHz;以及,
- h) 至少10kHz。

23. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统以以下中的至少一个精度测量所述跟踪目标的定位:

- a) 优于10mm;
- b) 优于2mm;
- c) 优于1mm;
- d) 优于0.2mm;
- e) 优于0.02mm;
- f) 优于0.01mm;以及,
- g) 优于5 $\mu$ m。

24. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述控制系统以以下频率中的至少一个频率操作:

- a) 至少10Hz;
- b) 至少20Hz;

- c) 至少30Hz;
- d) 至少100Hz;
- e) 至少300Hz;
- f) 至少1kHz;
- g) 至少2kHz;以及,
- h) 至少10kHz。

25. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述控制系统和跟踪系统以相同的频率操作。

26. 根据权利要求1所述的系统,其中,在所述控制系统和所述跟踪系统之间经由所述现场总线网络的通信具有以下延时中的至少一个延时:

- a) 小于100ms;
- b) 小于10ms;
- c) 小于5ms;
- d) 小于2ms;以及,
- e) 小于1ms。

27. 根据权利要求1所述的系统,其中,在测量所述跟踪目标的定位和/或定向与响应于所述测量至少控制所述机器人臂之间的延时是以下中的至少一个:

- a) 小于100ms;
- b) 小于20ms;
- c) 小于15ms;
- d) 小于10ms;
- e) 小于5ms;以及,
- f) 小于1ms。

28. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统以以下精度中的至少一种精度测量跟踪头和跟踪目标中的至少一者的定向:

- a) 优于1度;
- b) 优于0.1度;
- c) 优于0.01度;
- d) 优于0.002度;
- e) 优于0.001度;以及,
- f) 优于0.0001度。

29. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述跟踪系统测量整个工作包络中的所述跟踪目标的定位和/或定向,所述工作包络具有以下中的一个半径:

- a) 至少2m;
- b) 至少5m;
- c) 至少10m;
- d) 至少20m;
- e) 至少40m;以及
- f) 至少80m。

30. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述机器人臂能够以以下精度中的至少一种精

度定位所述末端执行器:

- a) 优于2mm;
- b) 优于1mm;
- c) 优于0.2mm;
- d) 优于0.02mm;
- e) 优于0.01mm;以及,
- f) 优于5 $\mu\text{m}$ 。

31. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述机器人臂能够以以下速度中的至少一种速度移动所述末端执行器:

- a) 大于0.01 $\text{ms}^{-1}$ ;
- b) 大于0.1 $\text{ms}^{-1}$ ;
- c) 大于0.5 $\text{ms}^{-1}$ ;
- d) 大于1 $\text{ms}^{-1}$ ;
- e) 大于2 $\text{ms}^{-1}$ ;
- f) 大于5 $\text{ms}^{-1}$ ;以及,
- g) 大于10 $\text{ms}^{-1}$ 。

32. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述机器人臂能够以以下加速度中的至少一种加速度来加速所述末端执行器:

- a) 大于1 $\text{ms}^{-2}$ ;
- b) 大于10 $\text{ms}^{-2}$ ;以及;
- c) 大于20 $\text{ms}^{-2}$ 。

33. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述机器人底座是可移动机器人底座,并且所述系统包括相对于所述环境移动所述机器人底座的机器人底座致动器。

34. 根据权利要求33所述的系统,其中,所述机器人底座致动器能够以以下精度中的至少一种精度来定位所述机器人底座:

- a) 高达1000mm;
- b) 优于500mm;
- c) 优于200mm;
- d) 优于100mm,
- e) 优于10mm;以及,
- f) 优于1mm。

35. 根据权利要求33所述的系统,其中,所述机器人底座致动器能够以以下速度中的至少一种速度移动所述机器人底座:

- a) 大于0.001 $\text{ms}^{-1}$ ;
- b) 大于0.01 $\text{ms}^{-1}$ ;
- c) 大于0.1 $\text{ms}^{-1}$ ,以及,
- d) 大于1 $\text{ms}^{-1}$ 。

36. 根据权利要求33所述的系统,其中,所述机器人底座致动器能够以以下加速度中的至少一种加速度来移动所述机器人底座:

- a) 大于 $0.1\text{ms}^{-2}$ ;
- b) 大于 $1\text{ms}^{-2}$ ,以及,
- c) 大于 $10\text{ms}^{-2}$ 。

37. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述系统包括主动阻尼系统,所述主动阻尼系统主动地阻尼所述机器人底座相对于所述环境的移动。

38. 根据权利要求37所述的系统,其中,在测量所述跟踪目标的定位和/或定向与激活所述主动阻尼系统之间的延时是以下中的至少一个:

- a) 小于100ms;
- b) 小于20ms;
- c) 小于15ms;
- d) 小于10ms;
- e) 小于5ms;以及,
- f) 小于1ms。

39. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述系统实现稳定控制,以在所述机器人底座经历相对于所述环境的移动时在所述环境中的目的地处提供所述末端执行器,并且其中,所述稳定控制能够补偿所述机器人底座相对于所述环境的以下中的至少一个的移动:

- a) 至少1mm;
- b) 至少10mm;
- c) 至少20mm;
- d) 至少50mm;
- e) 至少100mm;
- f) 至少500mm;
- g) 至少1000mm,以及,
- h) 至少5000mm。

40. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述控制系统:

- a) 计算延伸到末端执行器目的地的末端执行器路径;
- b) 基于所述末端执行器路径生成机器人控制信号;和,
- c) 将所述机器人控制信号施加到所述机器人臂,以使所述末端执行器根据所述末端执行器路径移动。

41. 根据权利要求40所述的系统,其中,所述控制系统:

- a) 使用来自所述跟踪系统的信号确定当前机器人底座定位;和,
- b) 基于所述末端执行器路径和所述当前机器人底座定位生成机器人控制信号。

42. 根据权利要求40所述的系统,其中,所述控制系统在以下至少一项中计算所述末端执行器路径:

- a) 环境坐标系;和,
- b) 机器人底座坐标系。

43. 根据权利要求41所述的系统,其中,所述控制系统重复地:

- a) 基于所述当前机器人底座定位和预期的机器人底座定位计算机器人底座偏差;
- b) 基于所述机器人底座偏差计算校正,所述校正指示路径修改;和,

c) 根据所述校正生成控制信号。

44. 根据权利要求41所述的系统,其中,所述控制系统:

- a) 使用所述当前机器人底座定位和所述末端执行器路径计算机器人臂运动学;和,
- b) 基于所述末端执行器路径和所计算的机器人臂运动学生成机器人控制信号。

45. 根据权利要求44所述的系统,其中,所述当前机器人底座定位指示所述机器人臂运动学的原点,并且所述当前机器人底座定位是在环境坐标系中确定的,从而允许所述机器人臂在所述环境坐标系中被控制。

46. 根据权利要求41所述的系统,其中,所述控制系统重复地:

- a) 基于所述当前机器人底座定位计算所述末端执行器路径;和,
- b) 基于所述末端执行器路径生成机器人控制信号。

47. 根据权利要求40所述的系统,其中,所述控制系统至少部分地使用基准机器人底座定位来计算所述末端执行器路径,所述基准机器人底座定位指示以下中的至少一项:

- a) 当前机器人底座定位;
- b) 基于所述机器人底座从当前机器人底座定位开始的移动的预测的机器人底座定位;
- c) 基于所述机器人底座沿着机器人底座路径的移动的预测的机器人底座定位;以及,
- d) 在所述末端执行器到达所述末端执行器目的地时的预想的机器人底座定位。

48. 根据权利要求40所述的系统,其中,所述控制系统考虑以下中的至少一项来生成所述机器人控制信号:

- a) 末端执行器速度分布;
- b) 机器人动力学;以及,
- c) 机器人运动学。

49. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述控制系统包括计算机数控系统。

50. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述控制系统执行以下中的至少一项:

- a) 对于所述控制系统的处理周期,重复步骤;
- b) 对于所述控制系统的连续处理周期,重复步骤;以及,
- c) 基于所述跟踪系统的刷新率来重复步骤。

51. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述机器人底座包括被安装到吊臂的头部。

52. 根据权利要求51所述的系统,其中,所述吊臂附接到交通工具。

53. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述系统用于以下中的至少一项:

- a) 在所述环境中定位物体或材料;
- b) 从所述环境中取回物体或材料;以及,
- c) 修改在所述环境中的物体或材料。

54. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述环境是以下中的至少一项:

- a) 建筑工地;
- b) 施工现场;以及,
- c) 交通工具。

55. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述现场总线网络是有线网络和无线网络中的至少一种。

56. 根据权利要求55所述的系统,其中,所述跟踪系统通过5G无线现场总线网络与所述

控制系统通信。

57. 一种使用包括机器人的系统在物理环境内执行交互的方法,所述机器人具有:

a) 机器人底座,其安装在吊臂上,其中,所述机器人底座经历相对于所述环境的移动;  
b) 机器人臂,所述机器人臂被安装到所述机器人底座,所述机器人臂包括安装在所述机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;

c) 通信系统,所述通信系统包括现场总线网络;

d) 跟踪系统,所述跟踪系统包括:

i) 跟踪底座,所述跟踪底座被定位于所述环境中并连接到所述现场总线网络;以及,

ii) 目标,所述目标被安装到所述机器人的部件,其中,至少所述跟踪底座被配置为随着所述机器人的移动跟踪所述目标,以允许所述目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向被确定,并且其中,所述方法包括在控制系统中:

(1) 当所述机器人底座经历移动时,经由所述现场总线网络与所述跟踪系统通信,以确定所述目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向;以及,

(2) 经由所述现场总线网络根据目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向控制所述机器人臂;以及

(3) 经由所述现场总线网络根据所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向控制所述吊臂。

58. 根据权利要求57所述的方法,其中,所述方法是使用根据权利要求1至56中的任一项所述的系统来执行的。

59. 一种包括计算机可执行代码的计算机程序产品,所述计算机可执行代码当由适当编程的控制系统执行时使得所述控制系统控制用于在物理环境内执行交互的系统,所述系统包括机器人,所述机器人具有:

a) 机器人底座,其安装在吊臂上,其中,所述机器人底座经历相对于所述环境的移动;

b) 机器人臂,所述机器人臂被安装到所述机器人底座,所述机器人臂包括安装在所述机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;

c) 通信系统,所述通信系统包括现场总线网络;

d) 跟踪系统,所述跟踪系统包括:

i) 跟踪底座,所述跟踪底座被定位于所述环境中并连接到所述现场总线网络;以及,

ii) 目标,所述目标被安装到所述机器人的部件,其中,至少所述跟踪底座被配置为随着所述机器人的移动跟踪所述目标,以允许所述目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向被确定,并且其中,所述控制系统:

(1) 当所述机器人底座经历移动时,经由所述现场总线网络与所述跟踪系统通信,以确定所述目标相对于所述跟踪底座的相对定位和/或定向;以及,

(2) 经由所述现场总线网络根据目标相对于所述跟踪底座的相对定位和/或定向控制所述机器人臂;以及

(3) 经由所述现场总线网络根据所述跟踪目标相对于所述跟踪底座的定位和/或定向控制所述吊臂。

60. 根据权利要求59所述的计算机程序产品,其中,所述计算机程序产品用于使所述控制系统控制根据权利要求1至56中的任一项所述的系统。

## 用于交互系统的通信系统

[0001] 发明背景

[0002] 本发明涉及用于在物理环境内执行交互的系统和方法,且特别是涉及用于使用具有被安装在经历相对于环境的运动的机器人底座上的机器人臂的通信系统以允许在环境内执行交互的系统和方法。

[0003] 现有技术的描述

[0004] 在本说明书中对任何现有的出版物(或来源于其的信息)或对已知的任何内容的提及不被视为并且不应被视为对现有的出版物(或来源于其的信息)或已知的内容形成本说明书涉及的奋斗领域中的公知常识的一部分的承认或允许或任何形式的暗示。

[0005] 已知提供了其中安装在移动机器人底座上的机器人臂用于在物理环境内执行交互的系统。例如,WO 2007/076581描述了一种用于由多个砖块建造建筑物的自动砌砖系统,其包括设置有砌砖和粘合剂施加头的机器人、测量系统和向机器人提供控制数据以在预定位置处铺设砖块的控制器。测量系统实时测量头部的定位,并为控制器产生定位数据。控制器基于定位数据和头部的预定或预编程定位之间的比较产生控制数据,以在关于建造中的建筑物的预定定位处铺设砖块。控制器可以控制机器人以逐层(course by course)方式建造建筑物,其中砖块顺序地铺设在它们相应的预定定位处,并且其中在为下一层铺设砖块之前,为整个建筑物铺设完整一层的砖块。

[0006] 激光跟踪器(例如US-4,714,339和US-4,790,651中描述的激光跟踪器)可用于测量装配到对象的目标的定位和定向。在2008年7月21-25日的CMSC:Charlotte-Concord中,Kyle描述了一种用于测量具有六个自由度的目标的定位和定向的激光跟踪器极坐标测量系统(laser tracker polar measurement system)。

[0007] 制造商API (Radian和OT2与STS(智能跟踪传感器))、Leica (AT960和Tmac)和Faro提供了激光跟踪器系统,其中一些可以测量目标的定位和定向。这些系统以300Hz或1kHz或2kHz(取决于装备)测量定位。(关于STS和Tmac的)定向测量依赖于使用以当前最大的100Hz进行测量的2D相机的相应的视觉系统。加速度计数据,例如来自倾斜传感器或INS(惯性导航系统)的加速度计数据,可用于以高达1000Hz确定或预测或内插定向测量结果,但对于已知系统,定向精度可能被降低至0.01度。

[0008] 这样的激光跟踪器可用于对机器人臂上的末端执行器进行精确的定位测量。从激光跟踪器和主动目标获得的等同于位于末端执行器上的或末端执行器附近的主动目标的定位和可选的定向的数据被用于至少控制末端执行器的定位,并且优选地还控制末端执行器的定向,且因而稳定末端执行器。

[0009] 现有的激光跟踪器和主动目标装备,例如API Radian和Smart Track Sensor (STS)或API Omnitrack和Smart Track Sensor或Leica AT960XR和Tmac,需要激光跟踪器和主动目标之间有硬连线连接。在工业机器人上,这需要沿着机器人臂布线且可能到达末端执行器、且也可能到达激光跟踪器的专用电缆。在大型建筑机械上,例如在申请人描述的砌砖机上,专用电缆必须从激光跟踪器延伸到交通工具,然后延伸通过铰接的多级伸缩吊臂到被安装在铺设头上的主动目标(智能跟踪传感器)。这种电缆需要多个插头和插座连接

器以用于组装和维护的目的。

[0010] 激光跟踪器和主动目标系统作为一个从端到端的完整系统被提供,其带有专用电缆和控制装置以及与外部装备的单一接口。这些系统从多个传感器(例如空气温度传感器、湿度传感器、以及编码器、干涉仪和ADM(自动测距仪)以及内部温度传感器)获得输入。当前的制造商希望在内部管理他们的控制系统,并将他们的控制和校准算法保留为嵌在内部软件内的知识产权。

[0011] Leica AT960XR激光跟踪器在用Ethercat选件将其连接到工业现场总线网络的情况下是可用的。这允许激光跟踪器向控制网络提供数据;然而,AT960XR需要单独的专用电缆来将其连接到Tmac主动目标。

[0012] API Omnitrac和API Radian跟踪器在通过无线通信连接到其专用控制PC的情况下是可用的。然而,这种无线连接引入了时间延迟或延时,这使得跟踪器不能用作控制实时动态运动的反馈传感器。如果API Omnitrac或Radian硬连线连接到专用跟踪器控制PC,则该专用跟踪器控制PC必须连接到机器控制PC,并且这些附加连接引入了小的通信开销和小的延时,这对于可接受用于补偿运动的实时控制是不理想的,例如对于申请人的砌砖机。

[0013] 在某些机器上,期望或必须使用多个激光跟踪器和/或多个主动目标。在这种情况下,必须使用多条专用电缆来连接部件。这增加了大量不期望的插头、电缆、重量和成本,并降低了可靠性(这与电缆数量和插头数量成反比)。

[0014] 本发明的概述

[0015] 在一个宽泛形式中,本发明的方面寻求提供一种用于在物理环境内执行交互的系统,该系统包括:机器人,该机器人具有:机器人底座,机器人底座经历相对于环境的移动;机器人臂,该机器人臂被安装到机器人底座,机器人臂包括安装在机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;通信系统,该通信系统包括现场总线网络;跟踪系统,该跟踪系统包括:跟踪底座,跟踪底座被定位于环境中并连接到现场总线网络;以及,跟踪目标,跟踪目标被安装到机器人的部件,其中,跟踪底座被配置为检测跟踪目标,以允许跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向被确定;以及,控制系统,该控制系统:经由现场总线网络与跟踪系统通信,以确定跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向;以及,根据跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向控制机器人臂。

[0016] 在一个实施例中,现场总线网络还被耦合到:机器人臂致动器;机器人底座致动器;一个或更多个末端执行器致动器;以及,一个或更多个传感器。

[0017] 在一个实施例中,通信系统包括:现场总线主设备;以及,一个或更多个现场总线从设备,该一个或更多个现场总线从设备连接到现场总线主设备。

[0018] 在一个实施例中,控制系统作为现场总线主设备连接到现场总线网络,并且其中,跟踪系统作为至少一个现场总线从设备连接到现场总线网络。

[0019] 在一个实施例中,跟踪系统是激光跟踪系统。

[0020] 在一个实施例中:跟踪底座包括:跟踪头,该跟踪头具有:辐射源,辐射源被布置成向跟踪目标发送辐射束;底座传感器,底座传感器感测反射的辐射;以及,头部角度传感器,头部角度传感器感测跟踪头的定向;以及,跟踪目标包括反射器,反射器将辐射束反射到跟踪底座。

[0021] 在一个实施例中,该控制系统:经由现场总线网络从跟踪底座接收指示来自底座

传感器和头部角度传感器的测量结果的传感器数据;并且,使用传感器数据确定跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向。

[0022] 在一个实施例中,对于控制系统的每个时钟周期,该控制系统:从跟踪底座接收传感器数据;确定跟踪目标的定位和/或定向;并且,至少部分地基于所确定的定位向机器人臂发送控制信号。

[0023] 在一个实施例中,跟踪底座包括至少一个跟踪头致动器,该至少一个跟踪头致动器控制跟踪头定向,并且其中,控制系统响应于跟踪目标的移动来控制该至少一个跟踪头致动器,使得跟踪头跟踪跟踪目标。

[0024] 在一个实施例中,跟踪目标连接到现场总线网络。

[0025] 在一个实施例中,跟踪目标被配置成跟踪跟踪底座。

[0026] 在一个实施例中,跟踪底座和跟踪目标中的至少一者作为现场总线从设备经由现场总线网络被连接。

[0027] 在一个实施例中,跟踪目标包括:目标传感器,目标传感器感测辐射束;以及,目标角度传感器,目标角度传感器感测目标的定向。

[0028] 在一个实施例中,控制系统:经由现场总线网络从跟踪目标接收指示来自目标传感器和目标角度传感器的测量结果的传感器数据;以及,使用传感器数据确定跟踪目标相对于跟踪底座的定向。

[0029] 在一个实施例中,对于控制系统的每个时钟周期,控制系统:从跟踪目标接收传感器数据;确定跟踪目标的定向;以及,至少部分地基于所确定的定向来向机器人臂发送控制信号。

[0030] 在一个实施例中,跟踪目标包括至少一个跟踪目标致动器,该至少一个跟踪目标致动器控制跟踪目标定向,并且其中,控制系统响应于跟踪目标的移动来控制该至少一个跟踪目标致动器,以及,跟踪目标跟踪跟踪底座的头部。

[0031] 在一个实施例中,跟踪系统还包括跟踪系统控制器,跟踪系统控制器作为另一现场总线从设备连接到现场总线网络。

[0032] 在一个实施例中,跟踪系统控制器使用从来自一个或更多个跟踪底座传感器和一个或更多个跟踪目标传感器的信号导出的数据来:控制跟踪底座和跟踪目标执行相互跟踪;以及,确定跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向,并且其中,跟踪系统控制器经由现场总线网络与跟踪底座和跟踪目标中的至少一者通信。

[0033] 在一个实施例中,跟踪系统控制器在以下中的一项中被提供:跟踪底座;跟踪目标;以及,控制箱,控制箱远离跟踪系统。

[0034] 在一个实施例中,跟踪系统控制器:接收目标传感器数据;接收指示以下项的底座传感器数据:跟踪头的定向;以及,在目标和跟踪底座之间的距离;使用底座传感器数据和目标传感器数据来计算跟踪目标相对于跟踪底座的定位和定向;以及,经由现场总线网络向控制系统提供指示目标定位和定向的定位和定向数据。

[0035] 在一个实施例中,跟踪系统和控制系统的操作是经由现场总线网络时间同步的。

[0036] 在一个实施例中,跟踪系统以以下频率中的至少一个频率测量目标定位和/或定向:至少10Hz;至少20Hz;至少30Hz;至少100Hz;至少300Hz;至少1kHz;至少2kHz;以及,至少10kHz。

[0037] 在一个实施例中,跟踪系统以以下中的至少一个精度测量目标定位:优于10mm;优于2mm;优于1mm;优于0.2mm;优于0.02mm;优于0.01mm;以及,优于5 $\mu$ m。

[0038] 在一个实施例中,控制系统以以下频率中的至少一个频率操作:至少10Hz;至少20Hz;至少30Hz;至少100Hz;至少300Hz;至少1kHz;至少2kHz;以及,至少10kHz。

[0039] 在一个实施例中,控制系统和跟踪系统以相同的频率操作。

[0040] 在一个实施例中,在控制系统和跟踪系统之间经由现场总线网络的通信具有以下延时中的至少一个延时:小于100ms;小于10ms;小于5ms;小于2ms;以及,小于1ms。

[0041] 在一个实施例中,在测量目标定位和/或定向与响应于测量结果至少控制机器人臂之间的延时是以下中的至少一个:小于100ms;小于20ms;小于15ms;小于10ms;小于5ms;以及,小于1ms。

[0042] 在一个实施例中,跟踪系统以以下精度中的至少一种精度测量跟踪头和跟踪目标中的至少一者的定向:优于1度;优于0.1度;优于0.01度;优于0.002度;优于0.001度;以及,优于0.0001度。

[0043] 在一个实施例中,跟踪系统测量整个工作包络中的目标定位和/或定向,该工作包络具有以下中的一个半径:至少2m;至少5m;至少10m;至少20m;至少40m;以及,至少80m。

[0044] 在一个实施例中,机器人臂能够以以下精度中的至少一种精度定位末端执行器:优于2mm;优于1mm;优于0.2mm;优于0.02mm;优于0.01mm;以及,优于5 $\mu$ m。

[0045] 在一个实施例中,机器人臂能够以以下速度中的至少一种速度移动末端执行器:大于0.01ms<sup>-1</sup>;大于0.1ms<sup>-1</sup>;大于0.5ms<sup>-1</sup>;大于1ms<sup>-1</sup>;大于2ms<sup>-1</sup>;大于5ms<sup>-1</sup>;以及,大于10ms<sup>-1</sup>。

[0046] 在一个实施例中,机器人臂能够以以下加速度中的至少一种加速度来加速末端执行器:大于1ms<sup>-2</sup>;大于10ms<sup>-2</sup>;以及,大于20ms<sup>-2</sup>。

[0047] 在一个实施例中,机器人底座是可移动机器人底座,并且系统包括相对于环境移动机器人底座的机器人底座致动器。

[0048] 在一个实施例中,机器人底座致动器能够以以下精度中的至少一种精度来定位机器人底座:高达1000mm;优于500mm;优于200mm;优于100mm,优于10mm;以及,优于1mm。

[0049] 在一个实施例中,机器人底座致动器能够以以下速度中的至少一种速度移动机器人底座:大于0.001ms<sup>-1</sup>;大于0.01ms<sup>-1</sup>;大于0.1ms<sup>-1</sup>;以及,大于1ms<sup>-1</sup>。

[0050] 在一个实施例中,机器人底座致动器能够以以下加速度中的至少一种加速度来移动机器人底座:大于0.1ms<sup>-2</sup>;大于1ms<sup>-2</sup>,以及大于10ms<sup>-2</sup>。

[0051] 在一个实施例中,系统包括主动阻尼系统,主动阻尼系统主动地阻尼机器人底座相对于环境的移动。

[0052] 在一个实施例中,在测量目标的定位和/或定向与激活主动阻尼系统之间的延时是以下中的至少一个:小于100ms;小于20ms;小于15ms;小于10ms;小于5ms;以及,小于1ms。

[0053] 在一个实施例中,系统实现稳定控制,以在机器人底座经历相对于环境的移动时在环境中的目的地提供末端执行器,并且其中,稳定控制能够补偿机器人底座相对于环境的以下中的至少一个的移动:至少1mm;至少10mm;至少20mm;至少50mm;至少100mm;至少500mm;至少1000mm;以及,至少5000mm。

[0054] 在一个实施例中,控制系统:计算延伸到末端执行器目的地的末端执行器路径;基

于末端执行器路径生成机器人控制信号;以及,将机器人控制信号施加到机器人臂,以使末端执行器根据末端执行器路径移动。

[0055] 在一个实施例中,控制系统:使用来自跟踪系统的信号确定当前机器人底座定位;以及,基于末端执行器路径和当前机器人底座定位生成机器人控制信号。

[0056] 在一个实施例中,控制系统在以下至少一项中计算末端执行器路径:环境坐标系;以及,机器人底座坐标系。

[0057] 在一个实施例中,控制系统重复地:基于机器人底座定位和预期的机器人底座定位计算机器人底座偏差;基于机器人底座偏差计算校正,校正指示路径修改;以及,根据校正生成控制信号。

[0058] 在一个实施例中,控制系统:使用当前机器人底座定位和末端执行器路径计算机器人臂运动学;以及,基于末端执行器路径和所计算的机器人臂运动学生成机器人控制信号。

[0059] 在一个实施例中,当前机器人底座定位指示机器人臂运动学的原点,并且机器人底座定位是在环境坐标系中确定的,从而允许机器人臂在环境坐标系中被控制。

[0060] 在一个实施例中,控制系统重复地:基于当前机器人底座定位计算末端执行器路径;以及,基于末端执行器路径生成机器人控制信号。

[0061] 在一个实施例中,控制系统至少部分地使用基准机器人底座定位来计算末端执行器路径,基准机器人底座定位指示以下中的至少一项:当前机器人底座定位;基于机器人底座从当前机器人底座定位开始的移动的预测的机器人底座定位;基于机器人底座沿着机器人底座路径的移动的预测的机器人底座定位;以及,在末端执行器到达末端执行器目的地时的预想的机器人底座定位。

[0062] 在一个实施例中,控制系统考虑以下中的至少一项来生成机器人控制信号:末端执行器速度分布;机器人动力学;以及,机器人运动学。

[0063] 在一个实施例中,控制系统包括计算机数控系统。

[0064] 在一个实施例中,控制系统执行以下中的至少一项:对于控制系统的处理周期,重复步骤;对于控制系统的连续处理周期,重复步骤;以及,基于跟踪系统的刷新率来重复步骤。

[0065] 在一个实施例中,机器人底座包括被安装到吊臂的头部。

[0066] 在一个实施例中,吊臂附接到交通工具。

[0067] 在一个实施例中,系统用于以下中的至少一项:在环境中定位物体或材料;从环境中取回物体或材料;以及,修改在环境中的物体或材料。

[0068] 在一个实施例中,环境是以下中的至少一项:建筑工地;施工现场;以及,交通工具。

[0069] 在一个实施例中,现场总线网络是有线网络和无线网络中的至少一种。

[0070] 在一个实施例中,跟踪系统通过5G无线现场总线网络与控制系统通信。

[0071] 在一个宽泛形式中,本发明的方面寻求提供一种使用包括机器人的系统在物理环境内执行交互的方法,该机器人具有:机器人底座,机器人底座经历相对于环境的移动;机器人臂,机器人臂被安装到机器人底座,机器人臂包括安装在机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;通信系统,通信系统包括现场总线网络;跟踪系统,跟踪系统包括:跟踪底

座,跟踪底座被定位于环境中并连接到现场总线网络;以及,目标,目标被安装到机器人的部件,其中,至少跟踪底座被配置为随着机器人的移动跟踪目标,以允许目标相对于跟踪底座的定位和/或定向被确定;以及其中,该方法包括在控制系统中:经由现场总线网络与跟踪系统通信,以确定目标相对于跟踪底座的定位和/或定向;以及,根据目标相对于跟踪底座的定位和/或定向控制机器人臂。

[0072] 在一个宽泛形式中,本发明的方面寻求提供一种包括计算机可执行代码的计算机程序产品,计算机可执行代码当由适当编程的控制系统执行时使得控制系统控制用于在物理环境内执行交互的系统,该系统包括机器人,机器人具有:机器人底座,机器人底座经历相对于环境的移动;机器人臂,机器人臂被安装到机器人底座,机器人臂包括安装在机器人臂上用于执行所述交互的末端执行器;通信系统,通信系统包括现场总线网络;跟踪系统,跟踪系统包括:跟踪底座,跟踪底座被定位于环境中并连接到现场总线网络;以及,目标,目标被安装到机器人的部件,其中,至少跟踪底座被配置为随着机器人的移动跟踪目标,以允许目标相对于跟踪底座的定位和/或定向被确定;以及其中,控制系统:经由现场总线网络与跟踪系统通信,以确定目标相对于跟踪底座的定位和/或定向;以及,根据目标相对于跟踪底座的定位和/或定向控制机器人臂。

[0073] 在一个宽泛形式中,本发明的方面寻求提供一种机器人系统,该机器人系统具有:底座,底座具有带有末端执行器的可延伸可平移机器人臂;激光跟踪器,激光跟踪器与所述底座间隔开放置,以选择性地与位于所述末端执行器附近的主动目标进行光学连接,以允许激光跟踪器测量主动目标的定位和可选的定向;现场总线网络,现场总线网络具有现场总线网络电缆布线(cabling),所述现场总线网络电缆布线从所述末端执行器延伸并连接所述末端执行器中的驱动器、致动器和传感器,并连接所述主动目标中的驱动器、致动器和传感器,所述现场总线网络电缆布线沿着所述机器人臂延伸并连接所述机器人臂的致动器和传感器,所述现场总线网络电缆布线延伸到所述底座并连接其中的驱动器、致动器和传感器,并且所述现场总线网络电缆布线延伸到所述底座之外以连接到所述激光跟踪器中的驱动器、致动器和传感器;以及现场总线控制系统,现场总线控制系统经由所述现场总线网络电缆布线与所述驱动器、致动器和传感器通信。

[0074] 在一个实施例中,所述主动目标位于所述末端执行器的底座附近,或者位于所述末端执行器上。

[0075] 在一个实施例中,存在多于一个的所述主动目标,使得所述激光跟踪器能够在所述末端执行器的任何姿势下与所述主动目标进行光学连接。

[0076] 在一个实施例中,所述机器人系统包括多于一个的所述激光跟踪器。

[0077] 在一个实施例中,包括激光跟踪器和主动目标的部件作为现场总线从设备被结合。

[0078] 在一个实施例中,现场总线网络电缆布线还向所述部件供电,使得通信和电力在单根电缆中。

[0079] 在一个实施例中,致动器控制算法被实现为由现场总线控制系统执行的库代码,使得激光跟踪器和主动目标紧密地集成到现场总线控制系统中,使得在传感器测量和致动器轴补偿控制之间存在不超过一个控制周期的最小延时。

[0080] 应当理解,本发明的宽泛形式及其各自的特征可以结合使用和/或独立使用,并且

对单独的宽泛形式的提及并不旨在进行限制。

[0081] 附图简述

[0082] 现在将参照附图来描述本发明的各个示例和实施例,在附图中:

[0083] 图1A是示出用于在物理环境内执行交互的系统的第一示例的示意图;

[0084] 图1B是用于在物理环境内执行交互的第二示例的示意图;

[0085] 图1C是图1B的系统的示意性平面视图;

[0086] 图2是用于图1A至图1C中的系统的控制系统的示例的示意图;

[0087] 图3是用于执行物理交互的过程的示例的流程图;

[0088] 图4A是控制和通信系统的第一示例的示意图;

[0089] 图4B是控制和通信系统的第二示例的示意图;

[0090] 图4C是控制和通信系统的第三示例的示意图;

[0091] 图5是用于执行物理交互的控制和通信过程的示例的流程图;

[0092] 图6A是示出跟踪系统和控制系统的相对定时的第一示例的示意图;

[0093] 图6B是示出跟踪系统和控制系统的相对定时的第二示例的示意图;

[0094] 图7是用于控制末端执行器移动的过程的示例的流程图;

[0095] 图8A至图8C是末端执行器和机器人底座的控制过程的具体示例的流程图;

[0096] 图9是根据实施例的定位和定向跟踪系统的透视图;

[0097] 图10是根据第一实施例的用于定位和定向跟踪系统的第一头部单元的透视图;

[0098] 图11是图10的第一头部单元的内部组成部分的示意图;

[0099] 图12是显示根据实施例的砌砖机的示意图,该砌砖机具有用于除其他以外实时测量与砌砖机的末端执行器的定位和定向相对应的目标的定位和定向的集成外围装备;

[0100] 图13是显示用砌砖机控制系统进行定位和定向测量的实现的示意框图;和

[0101] 图14是显示系统中的部件及其网络连接的框图。

[0102] 优选的实施例的详细描述

[0103] 以下描述解释了用于在环境内执行交互的许多不同系统和方法。出于说明的目的,以下定义适用于通篇使用的术语。

[0104] 术语“交互”旨在指在环境内发生的任何物理交互,并且包括与环境发生的物理交互或在环境上发生的物理交互。示例交互可以包括将材料或物体放置在环境内、从环境中移除材料或物体、移动环境内的材料或物体、修改、操纵或以其他方式与环境内的材料或物体接合、修改、操纵或以其他方式与环境接合等。从下面的描述中,交互的另外示例将变得明显,并且将认识到,这些技术可以扩展到广泛的不同交互,并且指定的示例不旨在进行限制。此外,在一些示例中,交互可以包括一个或更多个不同的步骤。例如,当砌砖时,交互可以包括以下步骤:从砖块供应机构取回砖块,以及然后将砖块放置在环境中。

[0105] 术语“环境”是用来指在其内或其上执行交互的任何位置、区块、区域或体积。环境的类型和性质将根据优选的实现方式而变化,并且环境可以是离散的物理环境,和/或可以是逻辑物理环境,仅仅因为其在发生交互所在的体积而从周围环境中描绘出来。环境的非限制性示例包括建筑物或施工现场、交通工具的部件,例如轮船甲板或卡车的装载托盘、工厂、装载现场、地面工作区域等,并且下面将更详细地描述另外的示例。

[0106] 机器人臂是可编程机械操纵器。在本说明书中,机器人臂包括多轴关节臂、并联运

动力学机器人(例如Stewart平台、Delta机器人)、球形几何机器人、笛卡尔(Cartesian)机器人(具有直线运动的正交轴机器人)等。

[0107] 吊臂是细长支撑结构,例如具有或不具有杆或铲斗、具有或不具有伸缩元件的回转吊臂、伸缩吊臂、伸缩铰接式吊臂。示例包括起重机吊臂、推土机吊臂、卡车起重机吊臂,其都具有或都不具有线缆支撑的或线缆加固的元件。吊臂还可以包括高架门架(overhead gantry)结构或悬臂门架(cantilevered gantry)或受控拉伸桁架(吊臂可以不是吊臂,而是多线缆支撑的并联运动学起重机(见PAR系统,拉伸桁架-Chernobyl起重机))或可在空间中平移定位的其他可移动臂。

[0108] 末端执行器是被设计成与环境交互的在机器人臂的末端处的设备。末端执行器可以包括夹持器、喷嘴、喷砂器、喷枪、扳手、磁铁、焊炬、割炬、锯、铣刀、铣铣刀(router cutter)、液压剪机、激光器、铆接工具等等,并且对这些示例的提及并非旨在进行限制。

[0109] TCP是工具中心点的缩写。这是在末端执行器(或工具)上的位置,末端执行器的定位和定向定义了受控物体的坐标。它通常位于运动学链的远端处。运动学链指在机器人臂的底座和末端执行器之间的连杆及它们的关节的链。

[0110] CNC是计算机数控的缩写,用于通过计算机/处理器/微控制器执行的预先编程的机器控制命令的序列来实现机器的自动化。

[0111] 在CNC控制系统内的坐标变换的应用通常被执行,以允许按照方便的坐标系编程。它也被执行以允许当工件被夹持在CNC加工中心上的虎钳或夹具中对工件定位误差的校正。

[0112] 这些坐标变换通常在静态意义上被应用,以考虑静态坐标转换(shift)或校正静态误差。

[0113] 机器人和CNC机器按照方便的笛卡尔坐标系被编程,且使用运动学变换来将笛卡尔坐标转换为关节定位,以移动机器人或CNC机器的姿势。

[0114] 实时地测量靠近TCP的机器人臂末端执行器的定位提高了机器人的准确度。这在用于探测和钻孔的机器人上的静态末端执行器上被执行。这通过以下的多步骤过程来实现:移动到所编程的定位、进行定位测量、计算校正向量、将补偿向量添加到所编程的定位、以及然后将TCP移动到新定位。这个过程不是硬实时地完成的,且依赖于静态机器人臂姿势。

[0115] 现在将参考图1A至图1C和图2描述用于在物理环境内执行交互的系统的示例。

[0116] 在图1A的示例中,系统100包括机器人且具体是机器人组件110,机器人组件110包括机器人底座111、机器人臂112和末端执行器113。机器人组件110相对于环境E被定位,环境E在该示例中被示为2D平面,但是在实践中可以是任何配置的3D体积。在使用中,末端执行器113用于在环境E内执行交互,例如执行砌砖、物体操纵等。

[0117] 系统100还包括跟踪系统120,其能够跟踪机器人组件的移动,并且在一个特定示例中,跟踪机器人底座相对于环境的移动。在一个示例中,跟踪系统包括通常相对于环境E静态定位的跟踪器底座121和安装在机器人底座111上的跟踪器目标122,允许确定机器人底座111相对于环境E的定位。在其他示例中,跟踪器目标可以被定位在机器人组件110的另一部分上,包括例如在机器人部件(例如机器人臂112或末端执行器113)上,使得机器人的至少一部分的定位被测量。

[0118] 在一个示例中,跟踪系统120包括跟踪底座121,该跟踪底座121包括跟踪器头部和底座传感器,该跟踪器头部具有被布置成向目标122发送辐射束的辐射源,该底座传感器感测反射的辐射。提供了一种检测目标122的定位和/或定向并控制跟踪器头部的定向以跟随目标122的底座跟踪系统。在一个示例中,目标122通常包括感测辐射束的目标传感器和跟踪跟踪底座的定位并控制目标的定向以跟随跟踪器头部的目标跟踪系统,但是如下面将更详细描述,这在被动目标被使用的情况下可能不被要求。角度传感器被设置在头部和可选地在目标中,分别确定头部和目标的定向。处理系统根据来自传感器的信号确定目标相对于跟踪底座的定位,具体地使用来自角度传感器的信号来确定跟踪器和目标的相对角度,同时辐射束的飞行时间可以被用于确定物理间隔(例如距离)。在另一个示例中,辐射束可以被极化,以便允许目标相对于跟踪头的定向(例如横滚(roll)角)被确定。尽管示出了包括头部和目标的单个跟踪系统120,但是这不是必需的,并且在其他示例中,可以提供多个跟踪系统和/或目标,这将在下面更详细地描述。

[0119] 在以上描述的示例中,描述了对能够跟随跟踪底座的主动目标的使用。然而,这不是必需的,且在其他布置中,目标是被动的且可以包括后向反射器,例如被安装到机器人的球面安装的后向反射器(SMR)。

[0120] 在一个特定的示例中,跟踪系统是激光跟踪系统,并且示例布置由API (Radian和OT2与STS(智能跟踪传感器))、Leica(AT960和Tmac)和Faro制造。这些系统以300Hz或1kHz或2kHz(取决于装备)测量定位,并且依赖于感测布置(包括激光跟踪、使用2D相机的视觉系统、加速度计数据(例如来自倾斜传感器或INS(惯性导航系统)的加速度计数据))的组合,并且可以用于进行精确的定位测量,其中从激光跟踪器和主动目标获得的数据等同于主动目标相对于环境E的定位和可选的定向。由于这些系统是已知的并且是商业上可获得的,因此将不再进一步详细描述。

[0121] 还将认识到,其他定位/移动传感器(例如惯性测量单元(IMU))也可以被结合到系统中,这将在下面更详细地描述。

[0122] 提供与跟踪系统120和机器人组件110通信的控制系统130,允许基于从跟踪系统接收的信号来控制机器人组件。控制系统通常包括一个或更多个控制处理器131和一个或更多个存储器132。为了便于说明,其余的描述将参考一个处理设备和一个存储器,但是将认识到,可以使用多个处理设备和/或存储器,其中对单数的提及包含复数布置。在使用中,存储器存储通常以应用软件或固件的形式控制指令,控制指令由处理器131执行,允许来自跟踪系统120和机器人组件110的信号被解释并被用于控制机器人组件110以允许交互被执行。

[0123] 图2中更详细地示出了控制系统130的示例。

[0124] 在该示例中,控制系统230耦合到机器人臂控制器210、跟踪系统控制器220和吊臂控制器240。机器人臂控制器210耦合到机器人臂致动器211和末端执行器致动器212,它们能够分别控制机器人臂112和末端执行器113的定位。跟踪系统控制器220耦合到跟踪头221和目标222,允许跟踪系统被控制,以及跟踪头221和目标222的相对定位被确定并返回到控制系统230。吊臂控制器240通常耦合到吊臂致动器241、242,吊臂致动器241、242可用于定位吊臂并因此定位机器人底座。还可以提供第二跟踪系统,其包括耦合到控制器225的传感器226,例如惯性传感器。要理解的是,在实践中,机器人臂、末端执行器和吊臂将具有多个

致动器(例如伺服电机、液压缸等),以实现它们相应的轴(即关节)的移动,并且对单个致动器的提及并非旨在进行限制。

[0125] 机器人臂控制器210、跟踪系统控制器220、第二跟踪系统控制器225和吊臂控制器240中的每一者通常包括电子处理设备,电子处理设备与存储的指令一起操作,并且操作来解释由控制系统230提供的命令,并且针对相应的致动器和/或跟踪系统生成控制信号和/或从传感器接收信号,并且向控制系统230提供相关数据。电子处理设备可以包括任何电子处理设备,例如微处理器、微芯片处理器、逻辑门配置、可选地与实现逻辑(例如FPGA(现场可编程门阵列))相关联的固件、或者任何其他电子设备、系统或布置。将要认识到,机器人臂控制器210、跟踪系统控制器220和吊臂控制器240通常分别形成吊臂组件、机器人组件和跟踪系统的一部分。因为这些系统的操作在本领域中将会被理解,所以将不再详细描述这些。

[0126] 控制系统230通常包括电子处理设备231、存储器232、输入/输出设备233和接口234,它们可用于将控制系统230连接到机器人臂控制器210、跟踪系统控制器220和吊臂控制器240。尽管示出了单个外部接口,但这仅仅是出于示例的目的,并且在实践中可以设置使用各种方法(例如以太网、串行、USB、无线等)的多个接口。

[0127] 在使用中,处理设备231执行存储在存储器232中的应用软件形式的指令,以允许所需的过程被执行。应用软件可以包括一个或更多个软件模块,并且可以在合适的执行环境(例如操作系统环境等)中被执行。

[0128] 因此,将要认识到,控制系统230可以由任何合适的处理系统(例如合适编程的PC、计算机服务器等)形成。在一个特定示例中,控制系统230是标准处理系统,例如基于英特尔架构的处理系统,其执行存储在非易失性(例如硬盘)存储装置上的软件应用,但是这并非必需的。然而,还将理解的是,处理系统可以是任何电子处理设备,例如微处理器、微芯片处理器、逻辑门配置、可选地与实现逻辑(例如FPGA(现场可编程门阵列))相关联的固件、或者任何其他电子设备、系统或布置。

[0129] 还将认识到,上述布置仅是出于说明的目的,并且在实践中可以使用广泛的不同系统和相关联的控制配置。

[0130] 出于以下示例的目的,将参考相对于环境E静止的环境坐标系ECS和相对于机器人底座111静止的机器人底座坐标系RBCS。此外,一些示例将参考机器人底座致动器坐标系BACS,该机器人底座致动器坐标系BACS是用于控制机器人底座的移动(例如控制吊臂组件的移动)的坐标系。

[0131] 在实践中,在上述示例中,机器人底座111经历相对于环境E的移动。移动的性质将根据优选的实现方式而变化。例如,机器人底座111可以是静止的,而环境E是移动的。这方面的一个很好的示例是,当机器人臂被设置在码头上并且试图与船的甲板上存在的物体交互时,船的甲板经历相对于码头的移动。然而,将要认识到,类似的相对移动将在一系列不同的情况下出现。

[0132] 替代地,在图1B所示的示例中,机器人底座111由机器人底座致动器140支撑,该机器人底座致动器140可用于移动机器人底座。在这个示例中,机器人底座致动器是吊臂组件的形式,其包括吊臂底座141、吊臂142和杆143。吊臂通常是可控的,允许机器人底座的定位和/或定向被调整。可用的移动类型将根据优选的实现方式而变化。例如,吊臂底座141可以

被安装在交通工具上,允许其被定位并可选地被旋转到期望的定位和定向。吊臂142和杆143可以是伸缩布置,包括多个伸缩吊臂或杆构件,允许吊臂或杆的长度被调整。另外,吊臂底座141和吊臂142之间以及吊臂142和杆143之间的角度可以例如使用液压致动器来控制,允许机器人底座111相对于环境E被设置在期望的定位上。这种操作通常在机器人底座致动器坐标系BACS中被执行,但是如将从其余的描述中变得明显的,这不是必需的。

[0133] WO 2018/009981中描述了用于砌砖的这种形式的系统的示例,W02018/009981的内容通过交叉引用被并入本文。然而,将认识到,这样的布置不限于砌砖,而是也可以用于其他形式的交互。

[0134] 根据实现方式,吊臂组件可以具有显著的长度,因此例如在建造应用的情况下,吊臂可能需要延伸横跨施工现场,并且可以具有几十米的长度。在这样的情况下,吊臂通常承受各种载荷,包括由吊臂和/或机器人臂的移动、风载荷、机械振动等产生的力,这些力又会在吊臂的末端诱发振动或其他移动,进而导致机器人底座相对于环境移动。这种移动通常将被称为无意移动。另外,如上所述,可以通过主动地移动吊臂而使机器人底座以受控方式移动,并且这种移动通常将被称为有意移动。

[0135] 在任何情况下,将认识到,在上述两个示例中,机器人底座相对于环境移动,因而机器人底座坐标系RBCS相对于环境坐标系ECS移动,这显著地复杂化了为了在环境内执行交互的控制过程、且特别是使末端执行器被精确定位的能力。在这点上,在正常机器人应用中,末端执行器在机器人底座坐标系RBCS中被控制,同时末端执行器需要在环境坐标系ECS中被定位,并且由于移动导致两个坐标系相对于彼此移动,这使得很难精确定位末端执行器。

[0136] 现在将参照图3描述用于在环境E内执行交互的过程的示例。

[0137] 出于以下解释的目的,将提及术语“目的地”。该术语旨在指末端执行器113将被设置的定位和可选的定向(其组合称为姿势),或者作为执行交互的一部分,或者是其他方式。例如,目的地可以对应于环境内将要发生交互的位置。然而,这不是必需的,替代地,目的地可以对应于末端执行器应该经过的任何定位,其实际上定义了通向最终目的地的多个目的地。例如,交互可以包括末端执行器移动的序列,它们可选地形成不同步骤的一部分,以及术语目的地可以指形成不同步骤的一部分的任何定位。因此,术语目的地应被解释为指末端执行器将被定位的任何特定点,并且在一些示例中,目的地可以是(例如当执行其他过程时)末端执行器将被保持一段时间的静态点,而在其他情况下,目的地可以是暂时的并且对应于末端执行器将遍历的路径上的点。

[0138] 在该示例中,在步骤300处,一个或更多个目的地定位被确定。实现这一步骤的方式将根据优选实现方式而变化。在一个示例中,目的地可以从数据库或其他数据存储装置中检索,从另一处理系统接收,基于来自传感器的信号或用户输入命令等来确定。例如,末端执行器目的地可以从规划图(plan)(例如建筑物的建造规划图)中导出,在这种情况下,规划图可以被检索并且目的地可以从该规划图中导出。在这点上,建造规划图可以识别为了建造建筑物物体(例如砖块)要被放置的定位。在本示例中,可以简单地从规划图中检索目的地定位。

[0139] 然而,这不是必需的,并且替代地,目的地定位可能需要以其他方式被确定。例如,可能必需从环境中取回物体,在这种情况下,末端执行器的目的地对应于物体定位。在该示

例中,物体定位可能事先是不知道的,在这种情况下,物体的定位可能需要例如使用基于相机的视觉系统或其他定位化(localisation)系统来检测,允许被检测到的定位被使用以便定义目的地定位。在这点上,物体可以是静止的或移动的,这意味着尽管目的地相对于环境坐标系ECS通常是静止的,但是在一些示例中,目的地可以是移动的。

[0140] 还将认识到,目的地可以以其他适当的方式被确定,并且上述示例并不旨在进行约束。

[0141] 在步骤310处,可选地,允许机器人底座111移动的机器人底座路径被规划。例如,在机器人底座111静止或已经被定位的情况下,可能不需要机器人底座路径。然而,将要认识到,机器人底座路径可以用于将机器人底座111移动到环境E内的或相对于环境E的不同定位,以便允许末端执行器113更方便地被设置在相应的目的地处。计算底座路径的方式将根据优选实现方式而变化,并且下面将更详细地描述示例。

[0142] 在步骤320处,末端执行器路径被规划以将末端执行器113移动到目的地。末端执行器路径通常是基于机器人底座111相对于环境E的所规划的定位来规划的,例如考虑机器人底座111沿着机器人底座路径的移动。末端执行器路径可以从末端执行器113的预期先前定位(例如在先前交互或其他步骤完成之处)延伸,或者可以基于当前末端执行器定位实时计算。将认识到,在目的地是基于当前定位的情况下,末端执行器路径可以是零长度的空(null)路径,这用于相对于环境E静态地定位末端执行器113的目的。

[0143] 在步骤330处,例如通过控制吊臂组件140或另一种形式的机器人底座致动器,机器人底座111可选地基于机器人底座路径移动。该过程通常在机器人底座致动器坐标系BACS中被执行,但是这不是必需的,并且机器人底座路径规划和/或对机器人底座移动的控制可以在其他坐标系中被执行。在该过程期间和/或之后,在步骤340处,执行末端执行器移动的开始,使得末端执行器开始沿着末端执行器路径移动,假设这是需要的。该过程通常在机器人底座坐标系RBCS中被执行,但是这不是必需的,并且末端执行器路径规划和/或控制可以在其他坐标系中被执行。

[0144] 当末端执行器113的移动被执行时,或者如果末端执行器113相对于环境E保持在静止定位处,则在步骤350处使用跟踪系统120来监测机器人底座的移动,以连续检测机器人底座111相对于环境E的定位。这用于在步骤360处例如通过调整机器人臂的姿势来调整末端执行器的移动,以确保到达目的地定位。

[0145] 在这点上,或者由于环境中的变动,或者由于吊臂的振动或风载荷、热膨胀、机械应力、由运动引起的动力学(摇摆和弹跳)等导致的机器人底座的意外动态移动,机器人底座可能经历相对于环境E的无意移动。这种运动意味着,例如由于机器人底座111偏离计算出的机器人底座路径,机器人底座可能不会被设置在相对于环境的预期定位上。在该示例中,通过监测机器人底座111的移动,可以校正这样的移动,确保末端执行器沿着末端执行器路径正确移动到目的地定位。

[0146] 因此,在一个示例中,机器人底座致动器用于提供粗略定位系统,而机器人臂提供精细定位系统,以允许末端执行器相对于环境被精确定位。操作由控制系统控制,该控制系统使用跟踪系统实时测量机器人底座的定位和可选地测量机器人底座的定向,机器人底座的测量的定位(和定向)被用于计算偏移,该偏移作为定位变换被添加到精细定位机构的相对定位,使得末端执行器相对于环境被精确定位。因此,可以使用较大且相对较轻且柔性的

结构来近似定位快速且精确的精细定位机构,该精细定位机构可以实时地被精确控制,允许末端执行器以精确且快速的运动相对于环境移动。

[0147] 这种操作形式被申请人称为动态稳定技术(DST),并在包括W02009/026641、W02009/026642、W02018/009981和W02018/009986在内的在先出版物中进行了描述,这些出版物的内容通过交叉引用被并入本文。

[0148] 还将认识到,DST也可以用于考虑机器人底座的有意移动,例如考虑在执行交互时机器人底座111可能正在遍历机器人路径的事实。

[0149] 现在将进一步详细描述上述系统的多个不同方面的示例。根据优选的实现方式,系统的这些不同方面可以独立使用或者可以结合使用。由此将认识到的是,对单独方面的提及不应被认为是限制性的,并且根据优选实现方式和使用系统的场景,这些方面可以以任意数量的不同组合被使用。

[0150] 在一个方面中,上述系统使用现场总线网络来促进控制系统和跟踪系统之间的通信,特别是降低电缆布线要求和/或减小延时并因而提高响应性。

[0151] 在该示例中,跟踪底座121和可选的跟踪目标122经由现场总线网络至少部分地连接到控制系统130,以允许跟踪器目标相对于跟踪底座的定位被确定,然后控制系统130根据跟踪目标相对于跟踪底座的定位来控制机器人臂。

[0152] 现场总线网络的使用可以提供优于现有系统的优势。在这点上,如前所述,现有的跟踪系统需要跟踪器底座和目标之间的连接,以便允许目标相对于跟踪器的定位被识别。虽然这种连接可以通过无线提供,但这会遭受掉线和延时问题。由于动态稳定通常需要对机器人底座与环境的相对定位的变化做出快速响应,这使得这样的无线连接通常是不合适的。替代地,可以使用专用的有线连接,但这又需要设置额外的布线(wiring),其横跨工作环境从底座延伸到目标,且在某些情况下,沿着吊臂延伸到机器人底座或末端执行器。这带来了后勤方面的挑战,代表了另一个潜在的故障点,且还引入了延时,这再次使得其对于动态稳定应用是不太理想的。

[0153] 相比之下,现场总线网络的使用启用了现有的网络基础设施(其通常用于控制致动器(例如机器人臂、末端执行器和/或机器人底座致动器)和/或从其他传感器接收信号),避免了对额外布线的需要。此外,这样的现场总线网络可以被配置为以最小的延时操作,使得其对于动态稳定应用是理想的。可以实现的另一个好处是现场总线网络的使用可以允许控制系统和跟踪系统的操作时间同步,这可以进一步帮助减小延时问题,这将在下面更详细地描述。

[0154] 现在将描述另外的许多特征。

[0155] 现场总线网络的性质将根据优选的实现方式而变化。在一个示例中,现场总线网络是根据IEC61158规范实现的,并且示例标准包括AS接口、CAN、EtherCAT、FOUNDATION现场总线、Interbus、LonWorks、Modbus、Profibus、BITBUS、CompoNet、SafetyBUS p或RAPIEnet,但是这些不旨在进行限制。在一个优选的示例中,现场总线网络是EtherCAT网络,其具有在每个节点中处理消息之前允许在节点之间传递消息的能力,允许EtherCAT网络以高速度和高效率操作,以及允许灵活的拓扑和时间同步。例如,具体地说EtherCAT网络、以及更一般地说现场总线网络可以根据任何适当的网络拓扑来配置,所述任何适当的网络拓扑可以包括菊花链、星形、环形、分支和/或树形网络拓扑,这取决于优选的实现方式。

[0156] 如上面所提到的,在一个特定示例中,现场总线网络还用于将控制系统连接到机器人臂致动器、末端执行器致动器、机器人底座致动器和/或一个或多个传感器。可以采用各种不同的连接配置,且现在将参照图4A至图4C描述这些连接配置的示例。

[0157] 在这些示例中,与图2中使用的那些附图标记相似的附图标记(虽然增加了200)被用来示出相似的特征,且因此将不再进一步详细描述这些特征。

[0158] 此外,在这些示例中,假设目标系统可以是被动目标或主动目标。在这点上,被动目标是具有反射器的跟踪目标,并且在一个特定的示例中是球面后向反射器,其将辐射束反射到相应跟踪头的跟踪头传感器。相比之下,主动目标包括目标传感器和目标角度传感器,目标传感器感测来自相应跟踪头的辐射束并使用目标致动器来控制目标的定向,目标角度传感器监测目标的定向。出于这个原因,在图4A至图4C中,以虚线示出了主动跟踪目标422,以强调在跟踪目标是被动的情況下这可能是需要的。

[0159] 因此,在图4A的示例中,跟踪系统是包括跟踪系统控制器420的激光跟踪系统,跟踪系统控制器420使用从来自跟踪底座421中的一个或多个跟踪底座传感器和跟踪目标422中的一个或多个跟踪目标传感器的信号中导出的数据来确定跟踪底座与目标的相对定位。根据配置,跟踪系统控制器420经由现场总线网络450与跟踪底座421或跟踪目标422中的任一者或两者通信,使得例如跟踪底座421或跟踪目标422可以经由跟踪系统控制器420互连。

[0160] 控制系统430还经由现场总线网络450连接到机器人臂控制器410、跟踪系统控制器420和吊臂控制器440,然后这些控制器也经由现场总线网络450直接耦合到相应的致动器411、412、441、442以及跟踪头421和目标422。

[0161] 替代地,在图4B的示例中,控制系统430经由现场总线网络450直接连接到致动器411、412、441、442和跟踪头421以及可选的目标422,其中控制器功能被直接集成到控制系统430中。

[0162] 在图4C中示出了特定优选配置的示例。

[0163] 在该示例中,跟踪系统控制器420耦合到跟踪底座421和/或形成跟踪底座421的一部分,同时跟踪系统控制器420、控制系统430和可选的跟踪目标422经由现场总线网络450连接。将理解的是,在该实例中,跟踪系统控制器420被有效地集成到跟踪底座中,但是这不是必需的,并且在其他示例中,跟踪系统控制器420可以被集成到跟踪目标422中。

[0164] 现场总线网络通常包括现场总线主设备和一个或多个现场总线从设备,现场总线从设备经由网络电缆布线连接到现场总线主设备。因此,在该示例中,跟踪系统控制器420和跟踪目标422通常包括或连接到现场总线从模块452,而控制系统430通常包括或连接到现场总线主模块451。因此,控制系统430充当现场总线主设备,而跟踪系统控制器420和跟踪目标422充当现场总线从设备。在其他示例中,跟踪底座421作为现场总线从设备连接到现场总线网络,并且跟踪系统控制器420可以在或可以不在如前所述的系统中。

[0165] 尽管未示出,但是将理解的是,致动器411、412、441、442和机器人臂控制器410以及吊臂控制器440通常也以类似的方式作为现场总线从设备被连接。

[0166] 现在将参照图5更详细地描述上述布置的操作的示例。

[0167] 在该示例中,在步骤500处,假设目标422是主动目标,目标422可选地生成指示目标的定向的目标传感器数据。同时,在步骤510处,跟踪底座421生成指示底座的定向(例如,

相对于目标的仰角(elevation)和方位角(azimuth))以及跟踪底座421和目标422之间的距离的底座传感器数据。

[0168] 此后,数据经由现场总线网络被传送到控制系统430。根据系统的优选实现方式和特定配置,这可以以多种方式实现。

[0169] 例如,如果跟踪底座421和目标422连接到跟踪系统控制器,则来自目标422的传感器数据通常经由现场总线网络被转移到跟踪系统控制器420,而来自跟踪底座的传感器数据在图4A的情况下经由现场总线网络被提供给跟踪系统控制器,或者在图4C的情况下被直接提供给跟踪系统控制器。

[0170] 跟踪系统控制器420接收底座传感器数据和目标传感器数据,使用这些数据来确定目标相对于底座的定位和/或定向,然后可以将其提供给控制系统430。将理解的是,这是使用已知技术实现的,并且通常代表跟踪系统的标准操作,但是传感器数据是经由现场总线网络从目标接收的,而不是经由直接连接从目标接收的。

[0171] 然而,这不是必需的,且替代地,原始数据(raw data)可能被转移到控制系统,例如,如果系统被配置为如图4B所示,或者如果跟踪系统控制器420将原始数据转发到控制系统430而不进行分析。在该实例中,控制系统430将分析原始数据以确定目标相对于底座的定位和/或定向。控制系统经由现场总线网络直接接收来自跟踪器底座和/或目标的数据输入的能力是有利的,因为其进一步减小了系统延时,并且允许在控制系统的每个时钟周期进行测量数据输入、处理和控制输出。这对于实时动态运动控制应用尤其有益。

[0172] 在步骤530处,控制系统430分析相对定位和/或定向,并在步骤540处生成适当的控制信号。这通常将包括确定机器人底座和/或末端执行器相对于环境的定位和/或定向、以及然后结合机器人底座路径和/或末端执行器路径使用所确定的定位和/或定向来实现动态稳定协议,在下面将更详细地描述该过程的示例。

[0173] 在步骤550处,控制信号经由现场总线网络450被转移到相关的致动器,允许在步骤560处根据需要移动机器人底座和/或末端执行器。将理解的是,该过程将根据需要被重复,通常在控制系统的连续处理周期内重复,允许末端执行器和/或机器人底座根据需要被控制,以便允许交互被执行。

[0174] 在任何情况下,将理解的是,上述布置使用公共现场总线网络来互连跟踪系统的部件,从跟踪系统获取信号,并向致动器(例如机器人底座致动器和/或机器人臂致动器)提供控制指令。这降低了所需的物理布线量,和/或有助于减小延时。

[0175] 因此,在一个示例中,控制系统经由现场总线网络从跟踪底座接收指示来自底座传感器和头部角度传感器的测量结果的传感器数据,并使用该传感器数据确定跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向。在这种情况下,对于控制系统的每个时钟周期,控制系统从跟踪底座接收传感器数据,确定跟踪目标的定位和/或定向,并至少部分地基于所确定的定位和/或定向向机器人臂发送控制信号。跟踪底座通常还包括控制跟踪头定向的至少一个跟踪头致动器。在这种情况下,控制系统响应于跟踪目标的移动来控制该至少一个跟踪头致动器,使得跟踪头跟踪跟踪目标。

[0176] 在另一示例中,跟踪目标可以连接到现场总线网络,并且可选地被配置为跟踪跟踪底座。在该示例中,跟踪目标包括感测辐射束的目标传感器和感测目标的定向的目标角度传感器,在这种情况下,控制系统经由现场总线网络从跟踪目标接收指示来自目标传感

器和目标角度传感器的测量结果的传感器数据,并使用该传感器数据确定跟踪目标相对于跟踪底座的定向。具体地,对于控制系统的每个时钟周期,控制系统从跟踪目标接收传感器数据,确定跟踪目标的定向,并至少部分地基于所确定的定向而向机器人臂发送控制信号。跟踪目标还可以包括控制跟踪目标定向的至少一个跟踪目标致动器,并且其中,控制系统响应于跟踪目标的移动来控制该至少一个跟踪目标致动器,使得跟踪目标跟踪跟踪底座的头部。

[0177] 跟踪底座和/或跟踪目标可以作为现场总线从设备经由现场总线网络或者被直接连接,或者经由作为另一个现场总线从设备连接到现场总线网络的跟踪系统控制器被连接。跟踪系统控制器可以使用从来自一个或更多个跟踪底座传感器和一个或更多个跟踪目标传感器的信号导出的数据来控制跟踪底座和跟踪目标,以执行相互跟踪并确定跟踪目标相对于跟踪底座的定位和/或定向,并且其中,跟踪系统控制器经由现场总线网络与跟踪底座和跟踪目标中的至少一者通信。

[0178] 如果设置跟踪系统控制器的话,跟踪系统控制器可以被设置在跟踪底座或跟踪目标中,并且经由现场总线网络耦合到跟踪目标或跟踪底座。替代地,跟踪系统控制器可以被设置在远离跟踪系统的控制箱中,并经由现场总线网络耦合到跟踪目标和跟踪底座。不管布置如何,跟踪系统控制器通常接收指示跟踪头的定向以及在目标和跟踪底座之间的距离的目标传感器数据和底座传感器数据。然后,跟踪系统控制器使用底座传感器数据和目标传感器数据计算跟踪目标相对于跟踪底座的定位和定向,并经由现场总线网络向控制系统提供指示目标定位和定向的定位和定向数据。

[0179] 除了上述过程外,跟踪系统和控制系统的操作通常经由现场总线网络同步。

[0180] 在一个示例中,这是使用现场总线从模块中的分布式时钟和相关联的时钟调节器来实现的。在这点上,现场总线主设备可以向现场总线从设备发送系统时间信号,现场总线从设备用其自己的分布式时钟的时间的指示来响应。比较这些值以确定任何偏差,本地分布式时钟根据需要递增或递减,直到主时钟和从时钟同步为止。为了保持主模块和从模块的同步,可以定期重复该过程。然后,跟踪系统和控制系统从属于现场总线系统时钟,确保控制系统和跟踪系统的操作是时间同步的,这可以导致系统延时的显著减小。在另一个示例中,特定的现场总线从设备可以用作参考时钟(即系统时间),网络中的所有其他从设备的从时钟和现场总线主设备同步到该参考时钟。

[0181] 在这点上,如图6A所示,如果跟踪系统时钟620和控制系统时钟630不同步,使得跟踪系统时钟在控制系统时钟之前,则这会导致定位被测量与控制系统处理测量结果之间的延迟 $\Delta_1$ 。根据偏移,该延迟可以几乎大到单个时钟周期。相反,如果同步配置正确,则这会导致大幅减小的延迟 $\Delta_2$ ,且 $\Delta_2$ 远远小于时钟周期时间,从而减小系统延时。

[0182] 根据一个方面,并且为了优化系统的响应性,系统可以根据特定的操作参数来操作。具体而言,操作参数被选择成允许末端执行器响应于机器人底座的动态移动(例如,对诸如风载荷或由于加速度等导致的机器人底座结构的摇摆和弹跳的扰动的振荡响应)而快速移动,使得末端执行器能够校正在机器人底座和环境之间的无意相对移动,从而允许末端执行器被精确地定位在环境内。因此,在一个特定示例中,末端执行器可以提供快速响应以校正机器人底座的较慢移动。因此,与现代工业机器人通常提供的由于静态偏转等引起的准静态(quasi-static)校正相反,可以提供动态补偿。

[0183] 在一个示例中,跟踪系统以至少10Hz、至少20Hz、至少30Hz、至少100Hz、至少300Hz、至少1kHz、至少2kHz或至少10kHz的频率和/或优于10mm、优于2mm、优于1mm、优于0.2mm、优于0.02mm、优于0.01mm或优于5 $\mu$ m的精度来测量机器人定位。这在确定机器人定位方面提供了足够精度,以允许末端执行器在环境内以亚毫米精度被定位,同时允许在准许实时运动控制的时间尺度上进行定位检测。

[0184] 类似地,控制系统通常以至少10Hz、至少20Hz、至少30Hz、至少100Hz、至少300Hz、至少1kHz、至少2kHz或至少10kHz的频率操作,允许控制系统足够快速地响应机器人底座定位的变化。典型地,控制系统和跟踪系统以相同的频率操作,且更典型地,控制系统和跟踪系统同步操作,以减小响应机器人底座定位的变化的延时。

[0185] 在一个示例中,在控制系统和跟踪系统之间的通信经由通信网络进行、且特别是经由现场总线网络进行,具有小于100ms、小于10ms、小于5ms、小于2ms或小于1ms中的至少一个延时。现场总线网络的使用降低了对额外布线的需求,并且可以降低总的信号延时,同时最小化网络延时可以有助于确保控制系统能够快速对机器人底座定位的变化做出动作。

[0186] 在一个示例中,这优选地导致一种系统,在该系统中,在测量机器人定位和/或定向与响应于测量结果来控制机器人臂以及因此控制末端执行器之间的延时是小于10ms、小于20ms、小于15ms、小于10ms、小于5ms或小于1ms中的至少一个。这允许实现足够快速的响应以抵消机器人底座和环境的大部分移动。

[0187] 跟踪系统通常以优于1度、优于0.1度、优于0.01度、优于0.002度、优于0.001度或优于0.0001度中的至少一种精度来测量跟踪目标和/或跟踪头的定向。

[0188] 典型地,跟踪系统在具有至少2m、至少5m、至少10m、至少20m、至少40m或至少80m中的一种半径的工作包络上以大于0.2mm的精度来测量机器人相对于环境的定位和/或定向。这使得机器人能够在通常期望大工作空间以便能够执行与环境的交互的室外环境中操作。机器人臂通常能够以优于2mm、优于1mm、优于0.2mm、优于0.02mm、优于0.01mm或优于5 $\mu$ m中的至少一种的精度来定位末端执行器,和/或能够以大于0.01ms<sup>-1</sup>、大于0.1ms<sup>-1</sup>、大于0.5ms<sup>-1</sup>、大于1ms<sup>-1</sup>、大于2ms<sup>-1</sup>、大于5ms<sup>-1</sup>或大于10ms<sup>-1</sup>中的至少一种的速度并以大于1ms<sup>-2</sup>、大于10ms<sup>-2</sup>或大于20ms<sup>-2</sup>中的至少一种的加速度来移动末端执行器。这允许末端执行器足够快速且精确地被定位以抵消机器人底座和环境的相对移动。

[0189] 当系统包括可移动机器人底座时,机器人底座致动器能够以高达1000mm、优于500mm、优于200mm、优于100mm、优于10mm或优于1mm中的至少一种的精度来定位机器人底座,同时能够以大于0.001ms<sup>-1</sup>、大于0.01ms<sup>-1</sup>、大于0.1ms<sup>-1</sup>或大于1ms<sup>-1</sup>中的至少一种的速度并且以大于0.1ms<sup>-2</sup>、大于1ms<sup>-2</sup>或大于10ms<sup>-2</sup>中的至少一种的加速度来移动机器人底座。

[0190] 在另一个示例中,该系统包括主动阻尼系统,该主动阻尼系统主动地阻尼机器人底座相对于环境的移动,在测量机器人底座的定位和/或定向与激活主动阻尼系统之间的延时是小于100ms、小于20ms、小于15ms、小于10ms、小于5ms或小于1ms中的至少一个。这允许在时间尺度上实现阻尼,该时间尺度可以降低机器人底座的主要移动的影响,且从而有助于确保末端执行器的移动能够校正机器人底座和环境之间的相对移动。

[0191] 在这点上,如前所述,末端执行器的移动通常被控制以考虑机器人底座的移动、且特别是校正机器人底座的移动,从而使得末端执行器能够在环境坐标系ECS内被精确控制,而不管在环境和机器人底座之间的相对移动如何。因此,这种DST动态地调整末端执行器,

以便考虑机器人底座的移动,这可以用于例如将末端执行器保持为在环境内静止或沿着或根据环境内的限定路径移动,而不管机器人底座的移动如何。

[0192] 在一个示例中,稳定控制(例如DST)可以补偿机器人底座和环境的为至少1mm、至少10mm、至少20mm、至少50mm、至少100mm、至少500mm、至少1000mm或至少5000mm中的至少一个的移动。在一个优选示例中,跟踪系统以至少100Hz或1kHz的频率测量定位和/或定向,以优于0.2mm或0.01mm的精度测量定位,且以优于0.01度或0.001度的精度测量定向。控制系统以至少100Hz或1kHz的频率操作,并且其中,在测量机器人定位和/或定向与控制机器人臂之间的延时小于30ms或1ms。

[0193] 在另一个优选的示例中,跟踪系统以至少100Hz或1kHz的频率测量定位和/或定向,以优于0.2mm或0.01mm的精度测量定位,并且以优于0.01度或0.001度的精度测量定向。控制系统以至少100Hz或1kHz的频率操作,并且其中,在测量机器人定位和/或定向与控制机器人臂之间的延时小于30ms或1ms。上述优选示例代表了用于实现实时动态补偿和运动控制的理想系统参数,特别适用于室外机器人,例如申请人的砌砖机。

[0194] 动态稳定技术可以利用不同的方法来实现,且现在将描述三个示例机制,这些示例机制在下文中被称为动态补偿、动态坐标系和动态路径规划。

[0195] 动态补偿通过生成路径校正并在生成控制机器人臂的控制信号时应用路径校正来进行操作,使臂跟随修改后的路径,从而将末端执行器带回到原始规划路径。

[0196] 动态坐标系通过在跟踪机器人底座的移动的移动坐标系中计算机器人臂运动学来操作,使得末端执行器总是在环境坐标系ECS中具有正确的定位。这通常包括转换(shifting)机器人臂运动学的原点,以确保末端执行器被正确定位。

[0197] 动态路径规划包括在机器人底座和环境相对于彼此移动时重新计算末端执行器路径,使得新路径确保末端执行器始终向末端执行器目的地前进。

[0198] 现在将参考图7更详细地描述控制过程的示例。

[0199] 在该示例中,在步骤700处,控制系统130获取机器人底座路径。机器人底座路径可以是检索出的预先计算的路径,或者替代地,可以是例如基于多个末端执行器目的地计算出的。类似地,在步骤710处,再次通过检索预定路径或基于末端执行器目的地计算末端执行器路径来确定末端执行器路径。

[0200] 在步骤720处,控制系统130从跟踪系统获取跟踪信号,并在步骤730处使用这些信号来确定机器人底座定位和/或移动。在这点上,来自第一跟踪系统120的信号可用于确定机器人底座相对于环境坐标系ECS的定位。

[0201] 在步骤740处,控制系统计算末端执行器的稳定响应,以便允许DST过程被实现。在步骤750处,控制信号被生成,这些信号被施加到机器人底座致动器和机器人臂,以在步骤760处根据相应的路径移动机器人底座和末端执行器,这通常与施加阻尼同时被执行。

[0202] 因此,将理解的是,这提供了一种用于执行动态稳定的机制。

[0203] 在一个示例中,控制系统包括计算机数控(CNC)系统。在这点上,CNC系统可以形成独立模块,被实现为软件、固件、硬件或其组合。在该实例中,附加的功能可以由其他模块来计算。例如,系统可以实现与CNC模块对接的DST模块,以允许系统被控制。例如,DST模块可以计算校正或机器人臂运动学原点转换,将此提供给CNC模块以允许机器人臂被控制。

[0204] 在以上所有示例中,尤其是在实现DST时,重复这些步骤以不断更新或校正机器人

底座的移动。对于控制系统的处理周期,尤其是控制系统的连续处理周期,这通常是重复的。因此,可以为控制系统的每个时钟周期计算新的校正、机器人臂运动学原点转换或新的路径。在另一示例中,这也基于跟踪系统的刷新率来执行,使得每次跟踪系统更新机器人底座定位时都计算新的校正等。由此可以理解,在一个优选示例中,控制系统的处理周期和跟踪系统的刷新率具有相同的频率,且甚至更优选地是时间同步的。

[0205] 控制信号通常在考虑末端执行器速度分布、机器人动力学和/或机器人运动学的情况下被生成。这样做是为了确保机器人臂能够执行必要的移动。例如,计算出的末端执行器路径可能超过机器人臂的能力,例如需要不可行的移动变化,或者需要以实际上无法实现的速率移动。在该实例中,可以重新计算路径以确保其可以被执行。

[0206] 在一个示例中,这可以通过执行对应于原始规划移动的移动来实现,但是所执行的移动在幅度上被限制为可行的移动。在该实例中,如果需要进一步的移动,这可以在连续的处理周期中被实现。

[0207] 现在将参照图8A至图8C描述其中结合使用动态补偿来执行DST的总体控制方法的示例。出于这个示例的目的,假设该系统类似于上面参照图1B和图1C描述的系统,其中机器人臂被安装在吊臂上。

[0208] 在该示例中,在步骤800处机器人底座路径被检索。将理解的是,这可以包括计算机器人底座路径。

[0209] 在一个示例中,这被执行,使得路径形状和速度分布被仔细地控制,以最小化机器人底座速度的变化,这又可以被用于避免不连续(例如阶梯式或急剧的速度变化)。突然的速度变化(例如增加或降低机器人底座移动的速度,或者改变移动的方向)可以在机器人底座致动器内诱导(例如吊臂组件的吊臂)振动。这又会导致机器人底座更大的无意移动,包括更多的移动和/或更大幅度的移动,使得阻尼和/或DST更难校正机器人底座的移动并确保末端执行器被设置在正确的定位处。

[0210] 为了最小化速度变化(包括速度和/或方向变化)的幅度,可以使用许多不同的方法。在一个示例中,机器人底座路径是弯曲的和/或被配置为允许机器人底座在执行交互的同时逐渐移动,使得机器人底座不必停止。

[0211] 附加地和/或替代地,路径规划可以考虑指示执行交互的时间的交互时间,该交互时间然后被用于计算机器人底座路径速度分布,并且可选地定义交互窗口,该交互窗口然后可以被用于动态地控制机器人底座。在这点上,交互窗口通常对应于环境中在末端执行器目的地周围的区域,虚拟机器人底座可以设置在该区域中,同时仍然允许执行交互,并且因此这允许例如根据交互的完成状态来控制机器人底座在遍历机器人底座路径时的速度。

[0212] 交互窗口通常基于交互时间和速度来确定,使得执行交互(例如拾取物体或放置物体)所需的时间对应于以所定义的机器人底座路径速度分布遍历交互窗口所花费的时间。在一个特定示例中,基于围绕目的地的设定距离来定义交互窗口,该设定距离是例如基于机器人臂运动学和/或动力学(例如末端执行器的可及范围和/或速度)而导出的。

[0213] 已经定义了交互窗口,然后可以使用这些交互窗口,以便控制机器人底座和末端执行器的移动,且特别是确保交互在不需要离散速度变化的情况下完成。例如,控制系统可以监测末端执行器交互以确定完成状态,并且根据监测的结果选择性地修改机器人底座控制信号以使机器人底座以不同的速度移动。

[0214] 在一个特定示例中,当机器人底座路径包括与每个末端执行器目的地相关联的交互窗口时,随着机器人底座进入交互窗口,控制系统可以控制机器人臂开始交互和/或末端执行器沿着末端执行器路径到末端执行器目的地的移动。然后,控制系统可以通过确定在机器人底座接近交互窗口的出口时交互是否将完成来监测交互,可选地逐渐降低机器人底座速度以确保在机器人底座到达交互窗口的出口时交互完成。

[0215] 因此,上述布置用于计算避免方向或速度的不连续和/或突然或急剧变化的路径,从而最小化机器人底座的无意移动(例如不希望的振动或其他移动)。附加地和/或替代地,上述方法在环境内执行交互的过程期间使用交互窗口来控制机器人底座速度。在这点上,基于执行交互所花费的时间,交互窗口与路径速度分布一起被定义,使得交互可以在不偏离速度分布的情况下被执行。在操作中,交互的完成被监测,如果交互进行得落后于计划,则机器人底座沿着机器人底座路径的移动逐渐减慢。这样做是为了确保交互可以在机器人底座退出交互窗口之前被执行。

[0216] 此外,在该示例中,假设交互包括多个步骤,控制系统通过监测步骤的完成来监测交互。作为该过程的一部分,控制系统确定用于下一步骤的末端执行器路径,且然后生成控制信号以移动末端执行器,从而完成该步骤。例如,这些步骤可以包括将末端执行器移动到末端执行器目的地,且然后将末端执行器返回到起始定位、原定位或参考定位。因此,在砌砖的情况下,交互可以包括从安装在吊臂和/或机器人底座上的提交机构(presentation mechanism)收集砖块,在返回末端执行器以允许收集下一个砖块之前,将末端执行器和砖块移动到环境中的目的地以允许砖块被铺设。

[0217] 在步骤802处,获取跟踪系统信号,这些跟踪系统信号被用于在步骤804处确定当前机器人底座姿势。具体地,这将基于跟踪目标姿势来计算,并使用几何变换来变换成当前机器人底座姿势。在一个示例中,机器人底座姿势是虚拟机器人底座姿势,其物理上偏离机器人底座,并与末端执行器对准,这对于允许机器人底座被更加容易地定位以便允许交互被执行可以是有益的。

[0218] 例如,当计算机器人底座路径时,控制系统可以简单地获取末端执行器目的地,并且然后使用该目的地以及跟踪目标定位来定义机器人底座路径,使得机器人底座遍历环境到达适于执行交互的定位。具体地,这可用于将末端执行器与末端执行器目的地对准,从而降低末端执行器路径的复杂性和对末端执行器的显著控制的需要。

[0219] 附加地和/或替代地,这可以有助于路径规划。例如,使用与末端执行器对准的虚拟机器人底座定位的对机器人底座的路径规划和/或对其移动的跟踪可以帮助避免末端执行器与环境或其中提供的对象或材料的碰撞。

[0220] 在步骤806处,确定是否到达交互窗口,如果未到达交互窗口,则过程前进到步骤830。否则,假设已经到达交互窗口,则在步骤808处选择下一步骤,在步骤810处计算和/或检索末端执行器路径。

[0221] 在步骤812处,确定是否需要稳定,如果不需要稳定,例如如果该步骤包括从安装在机器人底座上的输送机构取回物体,则过程进行到步骤824。

[0222] 否则,在步骤814处,基于根据机器人底座路径计算的在当前机器人底座姿势和预期的机器人底座姿势之间的偏差来计算机器人底座姿势偏差。然后,在步骤816处,基于末端执行器与末端执行器目的地的接近度,确定缩放因子。在步骤818处,机器人底座偏差用

于计算向量形式的校正,该向量包括关于六个自由度中每一个自由度的偏移并表示机器人底座姿势与预期的机器人底座姿势的偏移。然后,根据缩放因子对校正进行缩放。

[0223] 在步骤820处,使用末端执行器路径和经缩放的校正来计算机器人运动学变换,在步骤822处,对机器人运动学变换进行评估以确保动力学是可行的。在这点上,校正可能需要机器人臂经历超出机器人臂的能力的移动,例如需要过快的移动。如果该移动是不可行的,则可以例如通过基于机器人臂动力学来限制产生的校正幅度而重新计算或修改该移动。在一个示例中,这是通过返回到步骤818以重新计算校正来实现的。然而,这不是必需的,并且在一个示例中,在步骤824处,可以基于机器人臂动力学生成控制信号,以在控制系统的下一个处理周期之前简单地实现最大可能程度的校正。因此,如果校正需要10mm的末端执行器移动,但是在由控制器实现的下一个处理周期之前只能实现5mm的移动,那么将实现5mm的移动。

[0224] 此时,控制系统130可以在步骤826处确定交互是否按计划进行,如果没有按计划进行,则控制系统130在步骤828处修改吊臂速率,例如减慢吊臂的移动。无论吊臂速率是否被修改,在步骤830处,控制系统130都生成所产生的吊臂控制信号。

[0225] 然后,在步骤832处,控制信号被施加到相应的致动器,从而移动吊臂和末端执行器。在步骤834处获取跟踪系统信号,在步骤836处,随着末端执行器和机器人底座的移动,跟踪系统信号被用于确定当前底座姿势。

[0226] 在步骤838处,评估该步骤是否完成,如果没有完成,则过程返回到步骤812以再次确定是否需要稳定。否则,在步骤840处确定是否所有步骤都完成,如果没有,则过程返回到步骤808以选择下一步骤。否则,过程返回到806,以确定是否已经到达下一个交互窗口。

[0227] 将认识到,通过遵循上述顺序,这允许吊臂沿着吊臂路径逐渐移动,其中通过执行一系列步骤来执行交互,每个步骤包括确定末端执行器路径,其中末端执行器沿着末端执行器路径移动到目的地。

[0228] 虽然图8A至图8C的示例聚焦于动态补偿的使用,但是将认识到,类似的方法可以用于针对结合主动阻尼的DST的动态坐标系和动态路径规划方法。

[0229] 现在将更详细地描述另一具体示例。

[0230] 该实施例将诸如激光扫描器911的外部感测和控制装备与适于执行操作的大规模自动化装备(例如自动砌砖机912)集成在一起。这种大规模自动化装备需要诸如激光扫描器911的传感器来执行目标的定位和定向测量,使得测量结果可以反馈给装备,以便控制该装备使得在所需位置执行操作(其为货物的转移或砖块的铺设)。

[0231] 用于执行对目标的定位和定向的测量的装置具有激光跟踪器911形式的第一头部单元和主动目标传感器913形式的第二头部单元,结合了改进的横滚角测量。在使用中,主动目标传感器913被安装成紧靠末端执行器914。

[0232] 激光跟踪器911具有初级激光器915,初级激光器915生成初级激光束917,初级激光束917被主动目标传感器913反射回来,形成双向激光束。参考图11,激光跟踪器911包括单光束干涉仪919和反射镜921,其将初级激光束917的一部分反射到条纹计数器923,从条纹计数器923获取距离数据。50%分束器925将初级激光束917的一部分发送到双轴横向效应光电二极管或双轴定位位移传感器927,以导出用于“操纵”激光跟踪器初级激光束917的数据,以便精确地瞄准主动目标传感器913。

[0233] 激光跟踪器911还具有第二激光器929,第二激光器929被布置成将与初级激光束917平行的单向第二激光束931发送到位于主动目标传感器913上的横滚定位位移传感器933。横滚定位位移传感器933包括位于壳体937内的定位位移传感器935,壳体937被安装在用于旋转的曲面939上,使得定位位移传感器935随着初级激光束917旋转。安装在曲面939上的壳体937围绕与初级激光束917在正确对准以由主动目标传感器913反射回来时的行进线相同的轴线旋转。曲面表示壳体937围绕其进行120度旋转的表面,这使得该实施例适用于在横滚感测被限制为与壳体937的中心定位成正60度或负60度的应用中使用。角度编码器产生信号以指示壳体937被设置的角度,从而提供主动目标传感器913的横滚角度测量结果。

[0234] 激光跟踪器911被支撑在轭941上,轭941在支撑件943上绕基本上垂直的航向(heading)轴线945旋转。轭941可旋转地支撑绕水平高度轴线949旋转的头部947。头部947包含初级激光器915、单光束干涉仪919和反射镜921、条纹计数器923、50%分束器925和传感器927,并支撑第二激光器929。

[0235] 激光跟踪器初级光束光学器件包括初级激光器915以及单光束干涉仪919和条纹计数器923,但是作为单光束干涉仪919和条纹计数器923的替代方案,可以包括飞行时间ADM(自动测距仪),或者两者的组合。激光跟踪器初级光束光学器件还包括50%分束器925和传感器927,如上面所讨论的,它们可以从双轴PDS(定位位移传感器)或双轴横向效应光电二极管中选择,但是作为另一种替代方案,可以利用具有相关联的电路的CCD或CMOS传感器阵列。

[0236] 从传感器导出的数据被处理并被用于控制无刷AC伺服电机950,以相对于支撑件943移动轭941,并相对于轭941移动头部947。与伺服电机950相关联的角度编码器测量旋转的角度,并且除了从条纹计数器923数据的分析中确定的距离数据之外,该数据还用于提供姿态和航向数据。尽管无刷AC伺服电机950是最优选的,但是替代实施例可以利用DC伺服电机或步进电机或其他合适的驱动电机。

[0237] 图10中示出了激光跟踪器911的替代实施例。这与图9所示的激光跟踪器的不同之处仅在于轭941和头部947的更紧凑的形状和配置。

[0238] 在激光跟踪器911的两种布置中,横滚激光器(roll laser)929设置有校准装置,以使其光束931平行于初级激光束917,这将在制造期间进行调整的设置,但不期望在现场进行调整。

[0239] 往回参考图9,主动目标传感器913具有安装到要被跟踪的目标对象(未示出)的底座951。底座951可旋转地支撑绕第一轴线955旋转的轭953。轭953具有支撑头部957的U形夹(clevis),头部957用于绕垂直于第一轴线955的第二轴线959旋转。头部957具有位于其顶部的曲面939。头部957支撑内部装备来感测初级激光束917。

[0240] 在申请人的与本专利申请同时提交的标题为“Laser Tracker with Improved Roll Angle Measurement”的专利申请中描述了具有改进的横滚感测的用于感测目标的定位和定向的其他实施例,该专利申请的内容通过交叉引用被并入。

[0241] 因此,参照图12,本发明提供了一种自动砌砖机1212形式的机器人系统,该自动砌砖机1212具有卡车底盘1261形式的底座,该卡车底盘1261具有带有末端执行器1214的可延伸可平移机器人臂1263。激光跟踪器1211位于三脚架1265上,该三脚架1265与自动砌砖机

1212物理间隔开,在自动砌砖机1212的工作包络之外,以便能够保持与主动目标传感器1213的视线光学连接。主动目标传感器1213位于所述末端执行器附近,以允许确定主动目标传感器的定位和定向。末端执行器1214的定位和定向、且具体地位于可旋转且可延伸的臂1269上的夹具1267的定位和定向,可以通过数学变换由与移动这些部件的伺服电机相关联的编码器的读数来确定。

[0242] 可延伸可平移机器人臂1263被安装成绕桅杆1271上的垂直轴旋转,并且包括伸缩吊臂1273和伸缩杆1275,伸缩吊臂1273可以通过伺服致动器(未示出)绕水平轴提升,伸缩杆1275绕水平轴连接到伸缩吊臂1273,伸缩杆的姿势(poise)由伺服致动器(未示出)控制。吊臂1273和杆1275的伸缩构件的延伸也由伺服致动器(未示出)控制。头部单元1277围绕水平轴安装到内部杆(interior stick)1275a,并且其姿势由伺服电机(未示出)控制,以便将主动目标1213保持在头部单元1277的最上面。

[0243] 头部单元1277支撑电气柜1279,电气柜1279结合驱动电路来驱动伺服电机以调节头部单元1277的姿势、末端执行器1214的移动、主动目标传感器1213内部的伺服电机,并且结合接口电路来连接到包括与这些部件相关联的编码器的传感器,以感测旋转和位移。吊臂1273支撑电气柜1281,电气柜1281结合驱动电路来驱动伺服电机以及与可平移机器人臂1263相关联的位移和旋转测量编码器。

[0244] 底座1261具有主伺服驱动柜1283,该主伺服驱动柜1283结合驱动电路以驱动伺服电机以及与桅杆1271和位于底座1261内部的其他装备相关联的位移和旋转测量编码器。这包括用于运输砖块的带有夹具的梭子、切割和碾磨装备以及相关操控装备和装载装备。允许人机界面和超驰控制的分布式控制和电气箱1285与主伺服驱动柜1283连接。主计算机1287控制所有部件(包括控制激光跟踪器1211和其他外围连接的设备)的操作。

[0245] 连接主动目标传感器1213、电气柜1279、电气柜1281、主伺服驱动柜1283、分布式控制和电气箱1285、主计算机1287和激光跟踪器1211的是现场总线网络,现场总线网络具有现场总线网络电缆布线1289,其从头部和末端执行器1214中的所有致动器和传感器延伸并连接它们,并且经由电气柜1279连接所述主动目标1213中的致动器和传感器。现场总线网络电缆1289沿着机器人臂延伸,并经由电气柜1281连接机器人臂的致动器和传感器。现场总线网络电缆布线1289延伸到底座1261,并经由主伺服驱动柜1283连接底座1261中的致动器和传感器。现场总线网络电缆布线1289延伸到底座1261之外,以连接到激光跟踪器1211中的致动器和传感器。主计算机1287提供现场总线控制系统,该现场总线控制系统经由现场总线网络电缆布线1289与砌砖机内的所有致动器和传感器以及包括激光跟踪器1211和周界监测扫描装备1291在内的外部装备通信。驱动伺服电机的驱动电路和与传感器对接的接口电路利用现场总线从单元将每个致动器和传感器对接到现场总线网络电缆布线1289。现场总线网络电缆1289使用Ethercat P协议,因此通信和电力是在单根电缆中被提供的。

[0246] 虽然仅示出了一个主动目标传感器1213,但是替代实施例可以利用附加的主动目标传感器、和/或附加的成对的激光跟踪器和主动目标传感器,所有这些都现场总线网络电缆布线上联网。附加的主动目标传感器允许激光跟踪器1211在末端执行器1214的任何姿势下与替代的主动目标传感器进行光学连接,特别是在两个主动目标传感器被装配到夹具1267的外侧(每个钳夹(jaw)上装配一个主动目标传感器)的实施例中。例如,多个主动目标

可以菊花链形式连接在现场总线网络上。

[0247] 类似地,可以有多于一个的激光跟踪器1211,允许机器人臂1263延伸和平移通过更大的工作包络,这可以将主动目标传感器放在一个激光跟踪器的范围之外、但在另一个激光跟踪器的范围之内。多个激光跟踪器可以菊花链形式连接在现场总线网络上。

[0248] 跟踪器系统的部件(激光跟踪器和主动目标传感器)作为现场总线从设备(优选是Ethercat从设备)被结合。接口电路可以被包括在激光跟踪器和主动目标传感器中。跟踪器部件可以被放置在现场总线拓扑结构中的任何位置,并且可以彼此直接连接,也可以彼此不直接连接。

[0249] 用于移动轴的在每个激光跟踪器和每个主动目标中的伺服驱动器直接连接到现场总线网络,并由现场总线网络控制,且将编码器测量结果直接传送到现场总线网络。所有传感器都直接与现场总线网络通信。

[0250] 致动器控制算法被实现为由主计算机1287执行的库代码,主计算机1287可以是运行在工业PC上的Twincat主PLC。因此,激光跟踪器和主动目标被紧密地集成到自动砌砖机1212的控制系统中,使得在传感器测量和致动器机器轴补偿控制之间有最小的延时(不超过一个控制周期,通常为1ms)。

[0251] 所有校准和控制算法都被包含在运行于Ethercat主PC上的预编译代码中。

[0252] 在替代实施例中,校准和控制算法在现场总线(Ethercat)从设备上被实现,该现场总线(Ethercat)从设备可以是基于ASIC、FPGA或PC的处理器或电子单元,其然后被安装到Ethercat网络中,被安装在封闭控制柜中。在这种布置下,不需要在现场总线Ethercat主PC上运行特殊的库代码,且也不需要实现复杂的API和与机器控制器的进一步通信,因为6DOF定位数据和所有跟踪器系统控制变量都可以直接作为现场总线网络变量使用。

[0253] 在另一替代实施例中,校准和控制算法在现场总线(Ethercat)从设备上实现,该现场总线(Ethercat)从设备可以是安装在激光跟踪器单元中或安装在主动目标传感器中的基于ASIC、FPGA或PC的处理器或电子单元。这种布置的缺点是增加了它所安装到的单元的重量和尺寸。

[0254] 上述布置需要最少的额外布线来将激光跟踪器连接到控制系统,并且需要最少的额外布线来将主动目标连接到控制系统,并且避免了对在激光跟踪器和主动目标之间的专用的直接电缆连接的需要,该专用的直接电缆连接与现场总线网络电缆布线分开,如果电源电缆布线不与现场总线网络集成在一起则与电源电缆布线分隔开。

[0255] 在图13中,显示了使用Ethercat实现方式的分布式控制架构的细节。其他现场总线系统,包括从Profibus、Sercos、DeviceNet、Powerlink中选择的任何一种,都可以用于替代实施例中;然而,Ethercat提供了高速、可靠、低延时以及与广泛的可用设备和接口部件的兼容性。

[0256] 图13中显示了三个主要块。顶部是激光跟踪器1311,中间是现有的机器控制系统1313,以及底部是主动目标传感器1315。激光跟踪器1311部件经由Ethercat现场总线网络电缆布线1389连接到现有的机器控制系统1313,且然后经由Ethercat现场总线网络电缆布线1389连接到主动目标传感器1315。如图13中可见,激光跟踪器1311没有直接连接到主动目标传感器1315。

[0257] 机器控制系统1313具有电源1317,该电源1317向分布在砌砖机周围的部件供电

(通常为24V)。在使用Ethercat P网络的情况下,这允许电力与Ethercat通信分布在同一电缆中。

[0258] 机器控制系统1313块显示了Ethercat主PLC 1319与各种伺服驱动器1321以及输入和输出接口1323的连接。显示了菊花链连接,但是也可以使用其他拓扑,例如星形和环形连接。未显示伺服驱动器与电机的连接或I/O与传感器和致动器(由指向左侧的箭头1331指示)的连接。

[0259] 激光跟踪器1311块显示了没有专用控制器的内部架构。来自机器控制系统1313的Ethercat现场总线网络电缆布线1389连接直接连接到航向驱动器1333,且然后以菊花链形式连接到高度驱动器1335,然后连接到跟踪器头部PCB 1337,该跟踪器头部PCB 1337包含用于激光控制和激光传感器和ADM的I/O接口和定制电子设备。未示出可以用商业上可获得的现场总线卡和模块来实现的可选I/O。在该实施例中,控制是在机器控制系统1313块中的Ethercat主PLC 1319中实现的。在替代实施例中,控制算法可以在跟踪器头部PCB 1337上的微处理器(ASIC或FPGA)中实现,并且控制电报(control telegrams)经由现场总线网络电缆布线1389与Ethercat网络对接。电源模块1339对接到Ethercat P电缆,并产生至具有Ethercat接口(不是Ethercat P)的驱动器1333、1335和PCB 1337的24V DC电源。

[0260] 主动目标传感器1315块显示了到高度驱动器1341的Ethercat连接和到目标头部PCB 1343的星形Ethercat连接。高度驱动器1341以菊花链形式布置到航向驱动器1345和横滚驱动器1347的Ethercat连接。电源1349从Ethercat P连接产生至需要独立于其Ethercat连接的24V DC电源的驱动器的24V DC。

[0261] 在这种布置中,对主动目标传感器1315的控制是在机器控制系统1313中的Ethercat主PLC 1319中实现的。在替代实施例中,控制算法可以在目标头部PCB 1343上的微处理器(ASIC或FPGA)中实现,并且控制电报经由现场总线网络电缆布线1389与Ethercat网络对接。

[0262] 参考图14,显示了一个框图,其中显示了如何以菊花链和星型拓扑的混合且以“随机”顺序来连接Ethercat网络。激光跟踪器部件可以连接在任何方便的点处。主动目标传感器可以连接在任何方便的点处。不直接连接到激光跟踪器或主动目标传感器的其他I/O可以向现场总线网络提供数据,并且可以被集成到针对激光跟踪器和主动目标传感器的控制算法中。例如,图14显示了一个单独的I/O模块,该单独的I/O模块接收来自空气温度传感器和湿度传感器的数据,以便可以对空气密度进行更精确的测量,从而更精确地计算环境空气中的光速,从而提供更精确的距离测量结果。

[0263] 上述布置可以为工业和建筑机器人的动态测量和控制提供一个或多个优点,特别是对于那些具有主动运动补偿和稳定的动态测量和控制。在一个实施例中,该系统还提供主动目标传感器的精确实时横滚角测量,克服了上述背景技术的不足。

[0264] 在一个实施例中,该系统在其部件之间提供现场总线链路(例如Ethercat),这大大简化了在复杂和大型机器人或机器中的集成。现场总线链路的使用有利地连接工业机器和机器人上的多个分离的传感器、致动器和驱动器。现场总线降低了布线复杂性,并提高了可靠性。布线线束的直径可能受到电缆管道、能量链、空心轴(through hollow axis)或检修孔(access hole)中可用空间的限制。快速移动的机器人和机器的重量至关重要,且布线可能会在机器上形成相当大的非有效载荷重量。

[0265] 此外,尽管上述布置集中于在有线网络(例如Ethernet网络)上使用现场总线网络,但这不是必需的,并且附加地和/或替代地,一些或全部现场总线网络可以经由无线网络(例如5G网络)来实现。这可以有许多好处。例如,这可以显著降低布线要求,允许移除网络电缆布线和/或仅用电源电缆布线替换。例如,在跟踪底座的情况下,这可以是电池供电的,并且经由5G或其他无线网络连接到控制器,避免了对布线成跨越站点延伸到跟踪底座的需要。类似地,安装到机器人底座的跟踪目标可以与控制器无线地通信,并经由沿着吊臂的电缆布线来供电,或者是电池供电的,从而大大降低吊臂中的布线要求。

[0266] 现场总线还提供了增加可在机器上收集和使用的传感器数据的量的可能性。一旦装配了现场总线,就增加额外的传感器而言,在线束或电缆尺寸方面基本上没有损失。出于这个原因,将现场总线延伸到机器人臂的末端和/或机器人末端执行器是有利的。

[0267] 可以在申请人的整个砌砖机中使用现场总线,以连接单独的传感器组和伺服驱动器组。现场总线沿着吊臂延伸至铺设头。

[0268] 可以以任何组合使用各种现场总线拓扑(例如线性、环形和星形)。

[0269] 激光跟踪器API(应用编程接口)可用于将激光跟踪器对接到PC或机器控制器。在优选实施例中,现场总线变量可以在PLC(可编程逻辑控制器)中被访问,并且这比使用API更简单。

[0270] 因此,上述系统可以提供一种机器人系统,该机器人系统具有:底座,所述底座具有带有末端执行器的可延伸可平移机器人臂;激光跟踪器,所述激光跟踪器与所述底座间隔开放置,以选择性地与位于所述末端执行器附近的主动目标进行光学连接,以允许激光跟踪器测量主动目标的定位和可选的定向;现场总线网络,所述现场总线网络具有现场总线网络电缆布线,所述现场总线网络电缆布线从所述末端执行器延伸并连接所述末端执行器中的驱动器、致动器和传感器,并连接所述主动目标中的驱动器、致动器和传感器,所述现场总线网络电缆布线沿着所述机器人臂延伸并连接所述机器人臂的致动器和传感器,所述现场总线网络电缆布线延伸到所述底座并连接其中的驱动器、致动器和传感器,并且所述现场总线网络电缆布线延伸到所述底座之外以连接到所述激光跟踪器中的驱动器、致动器和传感器;以及现场总线控制系统,所述现场总线控制系统经由所述现场总线网络电缆布线与所述驱动器、致动器和传感器通信。现场总线从单元将每个驱动器、致动器和传感器对接到现场总线网络电缆布线。

[0271] 在一个实施例中,所述主动目标位于所述末端执行器的底座附近,或者位于所述末端执行器上。

[0272] 在一个实施例中,存在多于一个的所述主动目标,使得所述激光跟踪器能够在所述末端执行器的任何姿势下与所述主动目标进行光学连接。多个主动目标可以菊花链形式连接在现场总线网络上。

[0273] 在一个实施例中,所述机器人系统包括多于一个的所述激光跟踪器。这允许机器人臂在更大的工作包络内延伸和平移。多个激光跟踪器可以菊花链形式连接在现场总线网络上。

[0274] 跟踪器系统的部件(激光跟踪器和主动目标)作为现场总线从设备(优选是Ethercat从设备)被结合。跟踪器部件可以被放置在现场总线拓扑结构中的任何地方,并且可以彼此直接连接,也可以彼此不直接连接。

[0275] 在一个实施例中,现场总线网络电缆布线还(例如用Ethercat P)向部件供电,使得通信和电力在单根电缆中。

[0276] 激光跟踪器连接到现场总线网络并与其通信,现场总线网络优选地是Ethercat网络,并且主动目标连接到相同现场总线网络并与其通信。用于移动轴的在每个激光跟踪器和每个主动目标中的伺服驱动器直接连接到现场总线网络,并由现场总线网络控制,且还将编码器测量结果直接传送到现场总线网络。所有传感器都直接与现场总线网络通信。

[0277] 在一个实施例中,致动器控制算法被实现为由现场总线控制系统(现场总线网络主设备)执行的库代码,现场总线控制系统优选地是运行在工业PC上的Twincat主PLC。因此,激光跟踪器和主动目标紧密地集成到现场总线控制系统(Twincat PLC)中,使得在传感器测量和致动器机器轴补偿控制之间有最小的延时(不超过一个控制周期,通常为1ms)。

[0278] 在第一优选实施例的一个实施例中,校准和控制算法被结合到运行在Ethercat主PC上的预编译代码中。

[0279] 在替代实施例中,校准和控制算法是在现场总线(Ethercat)从设备上实现的,该现场总线(Ethercat)从设备可以是基于ASIC、FPGA或PC的处理器或电子单元,其然后被安装到Ethercat网络中,优选地被安装在封闭的控制柜中。在该实施例中,不需要在现场总线主设备(Ethercat主设备)上运行特殊的库代码,也不需要实现复杂的API和与机器控制器的进一步通信,因为6DOF定位数据和所有跟踪器系统控制变量可直接作为现场总线网络(Ethercat)变量使用。

[0280] 在替代实施例中,校准和控制算法是在现场总线(Ethercat)从设备上实现的,该现场总线(Ethercat)从设备可以是安装在激光跟踪器单元中或被安装在主动目标传感器中的基于ASIC、FPGA或PC的处理器或电子单元。该第三实施例的缺点是增加了它所安装到的单元的重量和尺寸。

[0281] 上述布置需要最少的额外布线来将激光跟踪器连接到控制系统,并且需要最少的额外布线来将主动目标连接到控制系统,并且避免了对在激光跟踪器和主动目标之间的专用的直接电缆连接的需要,该专用的直接电缆连接与现场总线网络电缆布线分开,如果电源电缆布线不与现场总线网络集成在一起则与电源电缆布线分隔开。

[0282] 优选地,对激光跟踪器和主动目标的控制由Ethercat主PC进行,Ethercat主PC也控制机器的其余部分。在这种布置中,激光跟踪器没有其自己的控制PC,并且主动目标没有其自己的控制PC。因此,没有单独的电子器件箱(electronics box)或电池来对激光跟踪器和/或主动目标进行控制、操作和供电。

[0283] 在一个实施例中,该系统在激光跟踪器与主动目标之间或多个激光跟踪器与多个主动目标部件之间提供现场总线链路(Ethercat),这显著简化了在复杂和/或大型机器人或机器中的集成。

[0284] 在一个实施例中,激光跟踪器具有初级激光束和航向角以及高度角跟踪和测量装置,并且另外设置有第二激光束以提供横滚角参考。主动目标使用跟踪初级激光束和测量航向角和高度角的装置。在优选实施例中,主动目标还设置有激光定位位移传感器(PDS),该激光定位位移传感器被安装成围绕与初级激光跟踪器光束重合的受控横滚轴旋转,使得横滚轴旋转以使PDS归零,从而提供横滚角。

[0285] 在一个实施例中,主动目标还设置有激光定位位移传感器(PDS),该PDS测量横滚

光束相对于基准定位的位移,从而提供横滚角。这种布置的优点是不需要主动横滚轴,但需要更大的PDS,并且如果PDS不延伸通过360度,则会限制可测量到的横滚角。如果使用大的PDS,则会降低横滚角精度。

[0286] PDS(精密位移传感器)是一种模拟设备,其提供与入射激光束的中心的位置成比例的实时信号。商业上可获得的PDS具有良好的重复性和模拟分辨率,且具有低噪声和优于传感器尺寸的0.1%的精度。通过使用小传感器,定位精度高。在优选实施例中,PDS信号被用作反馈以控制横滚轴,以保持横滚激光束的中心在PDS上。PDS测量结果可由控制系统通过ADC(模数转换器)读取,ADC可在控制器的循环控制速率下操作,从而有效地消除延时。

[0287] 激光跟踪器连接到现场总线网络(优选是Ethercat)并与之通信,且主动目标连接到相同现场总线网络并与之通信。在一个实施例中,用于移动轴的伺服驱动器直接连接到现场总线(Ethercat)网络,并由该现场总线(Ethercat)网络控制,并且将编码器测量结果直接传送到该现场总线(Ethercat)网络。在一个实施例中,所有传感器都直接与现场总线(Ethercat)网络通信。在一个实施例中,控制算法被实现为由现场总线网络主设备(优选为Twincat主PLC)执行的库代码。通过这种方式,激光跟踪器和主动目标紧密地集成到机器控制系统(Twincat PLC)中,使得在测量和机器轴补偿控制之间有最小的延时。

[0288] 为了控制在吊臂的末端上的机器人末端执行器定位和定向的主动动态补偿,需要具有低的或优选无延时(延迟)的快速数据。定位和定向数据可在机器人控制数据网络(例如Ethercat网络)上获得。可以在具有至少40m且优选约80m的半径的整个工作包络中,以1kHz或更高、优选约10kHz、以0.001度或更低、优选约0.0001度的定向精度且以大约5微米 $\pm$ 5个百万分之一、或大约0.2mm或更低、优选约0.02mm的绝对定位精度来提供测量结果。

[0289] 在一个实施例中,定向传感器连续工作。在一个实施例中,该系统提供具有低噪声的测量数据,使得运动补偿系统不会受到振动噪声的影响。在一个实施例中,测量结果具有低的延时,使得运动补偿没有太大的滞后,并提供及时的定位校正。

[0290] 上述布置在许多需要对大工作体积进行精细定位和运动控制的应用中是有用的。下面给出了一些示例应用:

[0291] 船转移

[0292] 船(ship)至船、或船至石油钻机、或船至天然气钻机、或船至风力涡轮机的货物、液体或人员的转移是本发明的控制系统的潜在应用。已知使船只(vessel)稳定用于定位保持。也已知用陀螺仪或推进器使船只横滚稳定。已知用推进器使船只偏航(yaw)稳定。还已知向工作设备(例如吊臂)提供升沉、俯仰(pitch)、横滚和偏航补偿。

[0293] 然而,已知对于在汹涌海面状况中的长吊臂,现有的补偿方法有局限。粗略的吊臂定位和精细的末端执行器定位或者甚至精细定位的额外阶段将在更大的海面状况和更恶劣的天气下实现更安全的转移、挂钩、断开和操作。

[0294] 对于需要或希望在所有天气条件下将东西从一艘船只转移到另一艘船只或者从一艘船只转移到固定对象的石油化学产品、可再生能源和军事操作者(以及其他),这可能有很大的好处。

[0295] 长建筑物

[0296] 长结构(例如高速公路的隔音墙)可以用砌砖机来建造。按照传统的布置,必须从一个位置建造,然后周期性地重新定位,并且从下一个固定位置建造。能够从爬行机建造将

是有利的。这将减少重新定位损失的时间,并将实现具有更短吊臂的更小更紧凑的机器。带有短吊臂的履带式机器将是理想的。提供了多个固定地面基准以便于此。

#### [0297] 长挖沟

[0298] 用于基础设施(例如地下管线和地下电缆)的长沟槽可以用已知的(例如由Ditch Witch或Vermeer制造的)连续挖沟机挖掘,或者对于更大横截面的沟槽用(例如由Caterpillar、Volvo、John Deere、Komatsu和其他制造的)挖掘机挖掘。对于许多应用(例如对于污水管道),沟槽和管道的精确坡度和位置很重要。对于许多应用(例如在城市中),知道精确定位很重要,以避免损坏现有的基础设施,例如管道、电缆、地基以及地下列车和公路隧道。当前的系统允许对挖掘进行某种控制,并向操作者提供挖掘深度或铲斗定位的反馈。在当前系统中,机器的底座(轨道)必须是固定的。

[0299] 所描述的动态控制系统允许精确挖掘到目前其他方法无法实现的公差。此外,它允许预先编程的挖掘,以用于完全自主的操作。此外,它允许从连续移动的机器(例如沿着所提议的沟槽的路径爬行的履带式挖掘机)精确挖掘。

#### [0300] 地面修整

[0301] 已知使用平地机、推土机、装载机、挖掘平整机或自动刮板机来用推土板或铲斗使泥土或混凝土表面平滑。机器的固有设计将实现比它移动过的表面更平坦的表面,因为机器的几何结构提供平滑作用。已知使用自动控制将铲斗或推土板保持于预定的水平、坡度或轮廓可实现更准确和更快的结果。推土板或铲斗围绕横滚轴自动向上或向下移动或倾斜,以保持激光平面水平或坡度,或与由GPS或全站仪(total station)测量作为基准的轮廓相匹配。这些已知的控制系统具有低带宽,并且机器实现准确的结果,因为机器的固有设计将实现比它上面行驶的表面更平坦的表面,即使没有机器引导。

[0302] 本发明允许更复杂的机器布置(例如(经修改的)挖掘机)装配有多轴控制的推土板或铲斗,以用完全可编程的方式实现非常复杂的土方作业。

#### [0303] 采矿

[0304] 已知对采矿使用自动卡车。

[0305] 挖掘机和正铲挖土机目前由机器操作员操作。该技术通过按照矿井坐标对底座移动(轨道底座)和挖掘程序进行预先编程来实现挖掘机和正铲挖土机的自主控制。

#### [0306] 疏浚

[0307] 安装在驳船上的挖掘机用于疏浚。疏浚通道深度、宽度、剖面 and 位置对航运安全极为重要。疏浚是昂贵的,因此使移动的废土的量最小化是有利的。疏浚越精确,越少的废土需要被移除。

[0308] 驳船是漂浮的,因此当挖掘机移动时,驳船俯仰且横滚且移动。以6dof实时地测量驳船定位和定向使铲斗定位能够(经由测量挖掘机的姿势的已知传感器)被精确地计算、或者甚至被控制到一组预先编程的挖掘位置。

#### [0309] 高架工作平台

[0310] 已知使用各种高架工作平台(EWP),例如吊臂升降机或剪式升降机或由诸如JLG、Snorkel和Genie的制造商制造的垂直伸缩升降机。已知非常高的吊臂升降机以大的幅度摇摆,且使工作变得困难、危险或不可能。摇摆是吊臂升降机可工作的高度的限制因素。已知在平台上升的情况下驱动吊臂升降机或EWP引起摇摆,并使平台变得不舒适或危险。本发明

提供了获得稳定平台的手段,使得当平台或EWP移动时,平台相对于地面或期望的轨迹是稳定的。

[0311] 缆索悬挂式机器人

[0312] 已知在由处于拉伸的缆索悬挂的平台上支撑机器人,缆索由高架门架或塔支撑(见PAR系统-张拉桁架和Chernoby1起重机以及拆除机器人)。缆索可以支撑高载荷,但结构具有低刚度。横向刚度非常低。通过将跟踪部件添加到悬挂的平台以提供机器人臂的底座6DOF定位,机器人和末端执行器的定位的精度将大大提高。这将使这样的系统能够完成精确的工作,而不是它目前被用来完成的相对不精确的拆除工作。

[0313] 非常精确的应用

[0314] 这种系统可以包括检流计振镜,其与高功率激光器一起使用于激光切割、激光雕刻或3D增材激光熔化制造。

[0315] 将认识到,还设想广泛的其他用途。例如,该系统可用于执行多层和/或高层建筑物的建造。在这点上,在建造期间,机器人底座可以由建筑物支撑或远离建筑物,该系统被用于补偿机器人底座相对于建筑物的移动,该移动可能是由建筑物的风荷载和/或用于支撑机器人底座的支撑系统引起的。

[0316] 该系统还可以与上面提到的那些交通工具之外的广泛的其他交通工具(例如空间飞行器)一起使用。在该示例中,机器人底座可以安装在空间飞行器上,允许其用于执行与另一交通工具的交互(例如促进对接、卫星反演等)或者与其他物体的交互(例如与小行星或类似物体的交互)。

[0317] 以上所述的布置可以在大尺寸的工作空间上实现高程度的动态运动质量和定位公差。这导致位于长吊臂或塔的末端处或在长缆索桁架上支撑的末端执行器的运动更加平稳。本发明的布置可以使由移动交通工具支撑的长吊臂或塔所支撑的末端执行器的运动平稳。

[0318] 在以下专利出版物和共同待审申请中描述了申请人技术的进一步细节:US8166727、PCT/AU2008/001274、PCT/AU2008/001275、PCT/AU2017/050731、PCT/AU2017/050730、PCT/AU2017/050728、PCT/AU2017/050739、PCT/AU2017/050738、PCT/AU2018/050698、AU2017902625、AU2017903310、AU2017903312、AU2017904002、AU2017904110、PCT/AU2018/050698、AU2018902566、AU2018902557、PCT/AU2018/050733、PCT/AU2018/050734、PCT/AU2018/050740、PCT/AU2018/050737和PCT/AU2018/050739,这些文件的内容通过交叉引用被并入本文。

[0319] 在整个本说明书和随附的权利要求中,除非上下文另有要求,否则措辞“包括(comprise)”以及变型例如“包括(comprises)”或“包括(comprising)”,将被理解为暗示包括陈述的整体或整体的组或步骤但不排除任何其他整体或整体的组。如本文所用且除非另有说明,术语“大约”是指 $\pm 20\%$ 。

[0320] 本领域的技术人员将认识到,多种变型和修改将变得明显。对本领域的技术人员变得明显的所有的这样的变型和修改应当被认为落在本发明在描述之前宽泛地表现的精神和范围内。

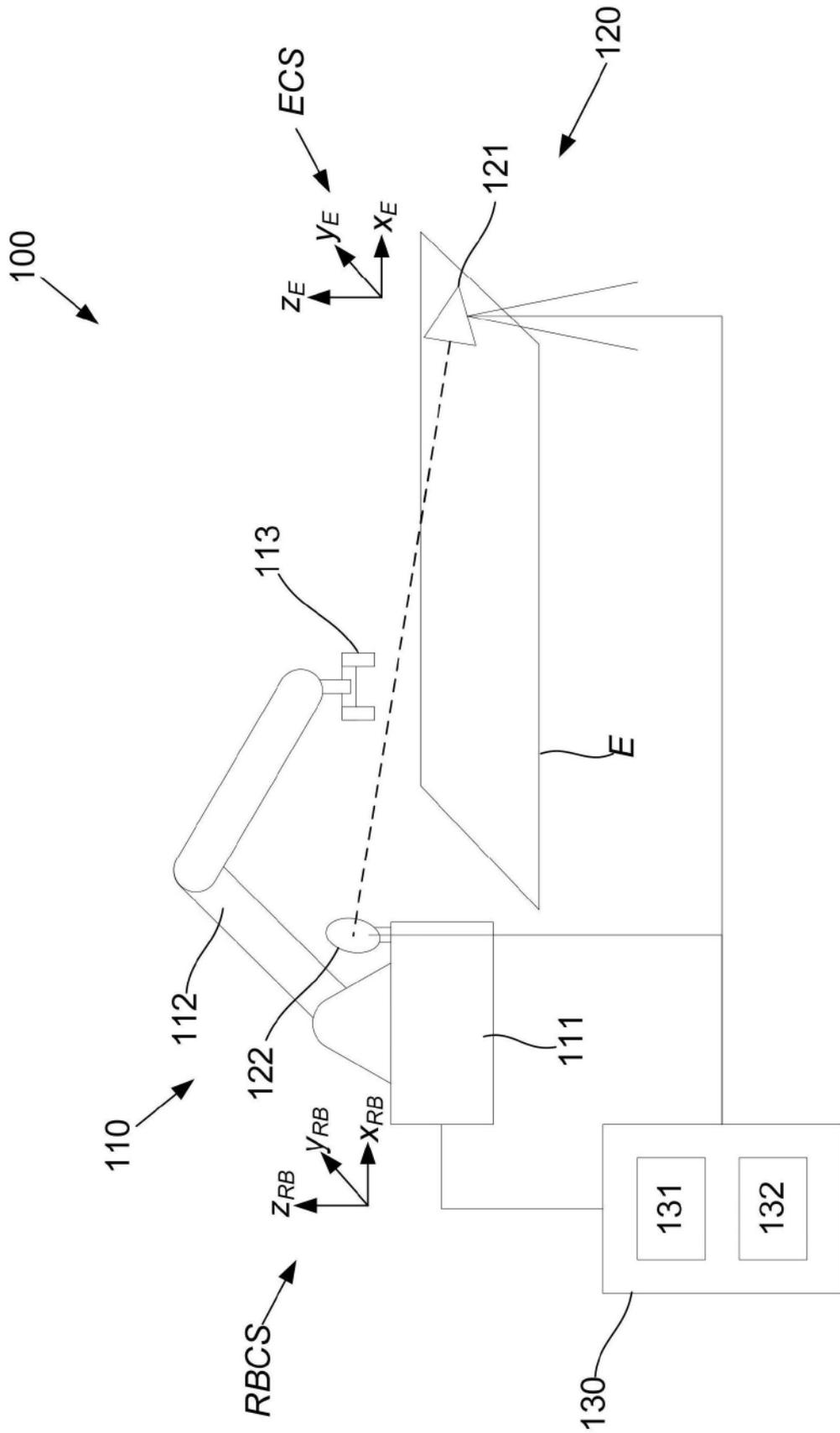


图1A

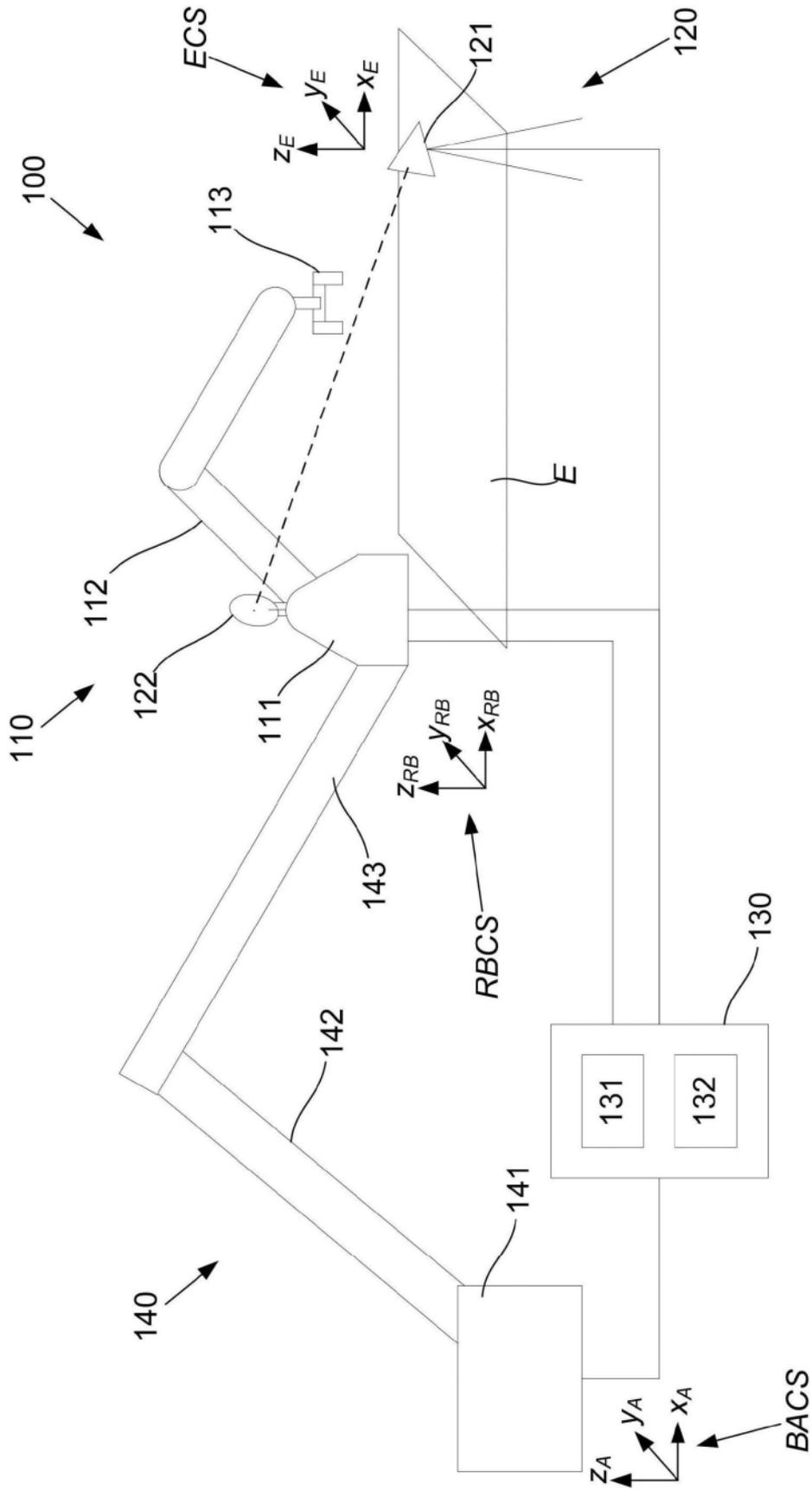


图1B

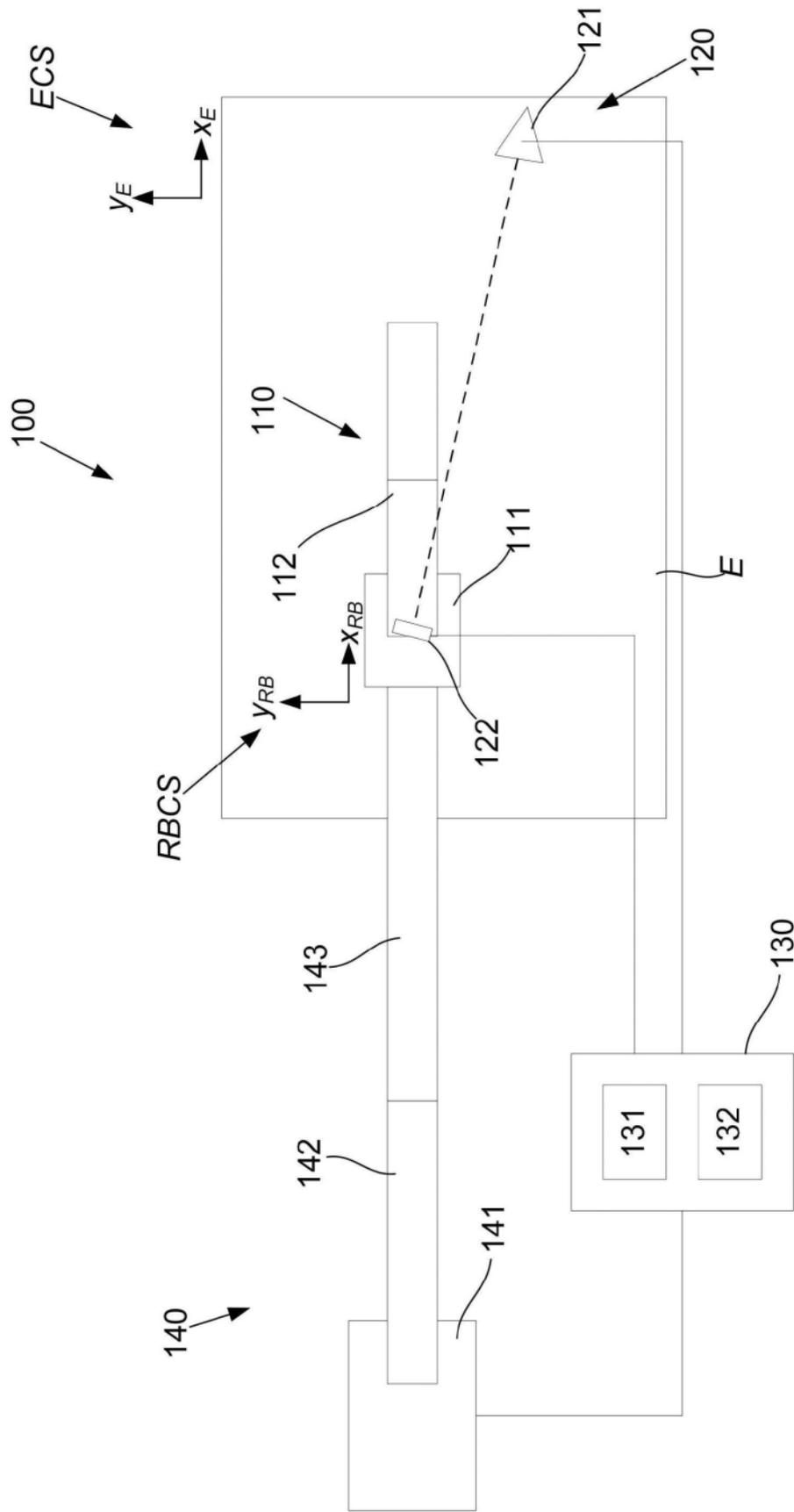


图1C

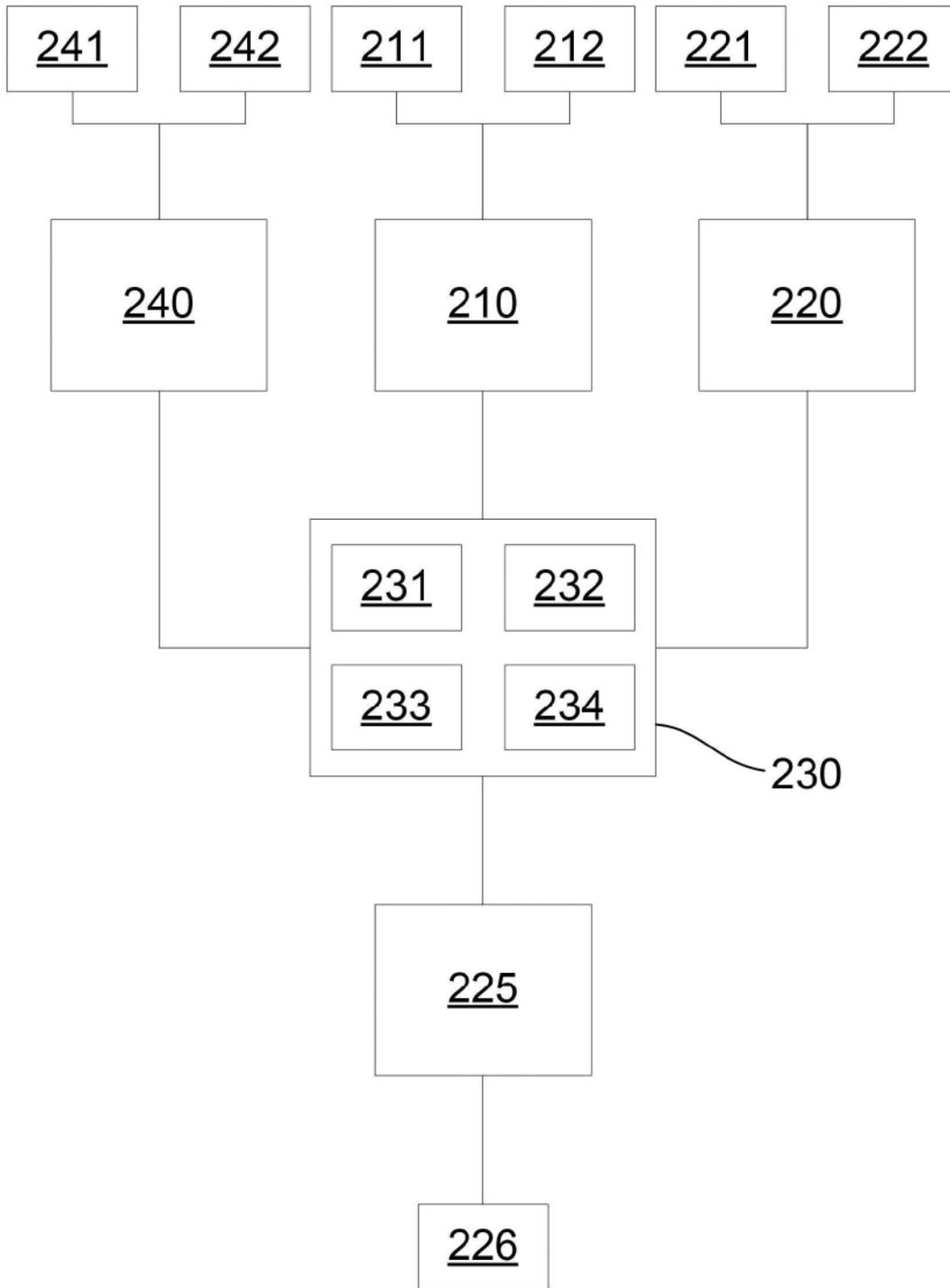


图2

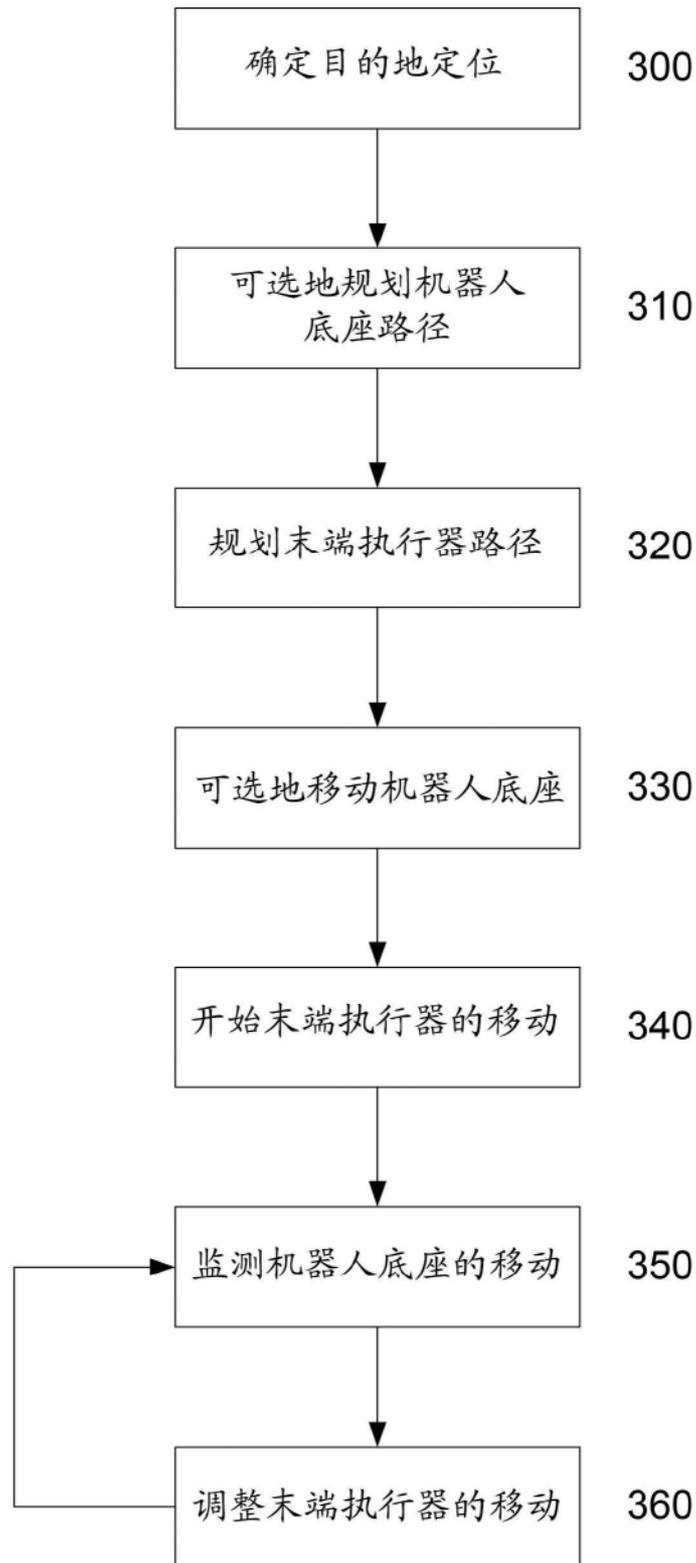


图3

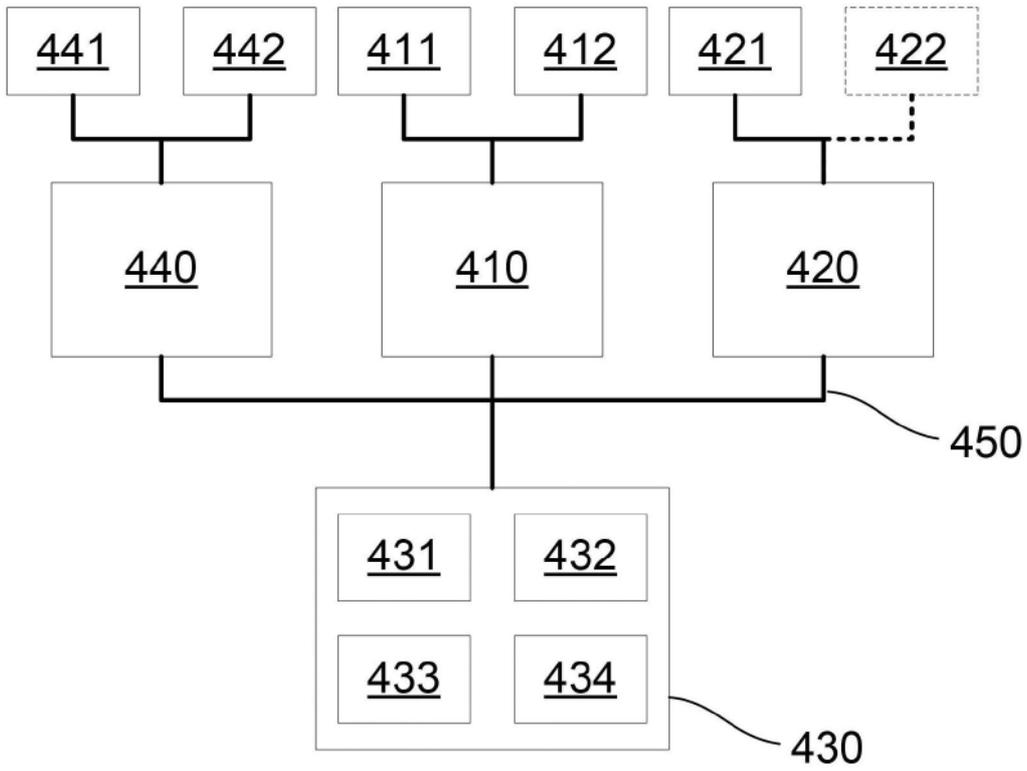


图4A

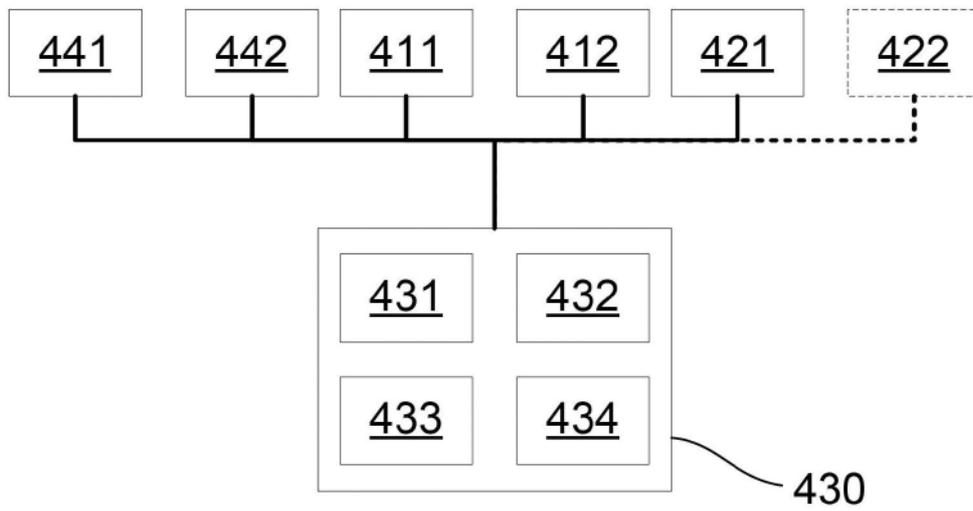


图4B

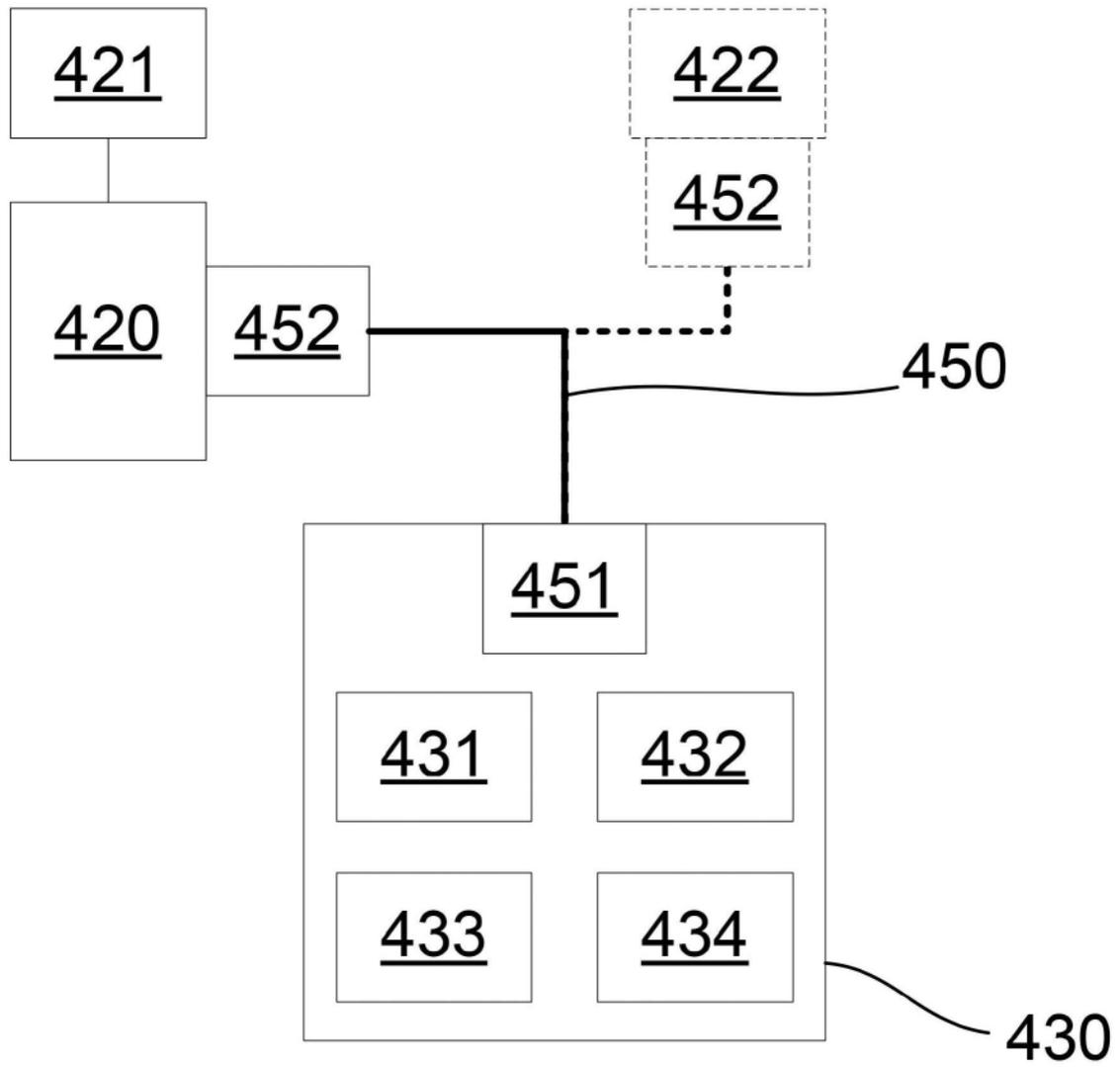


图4C

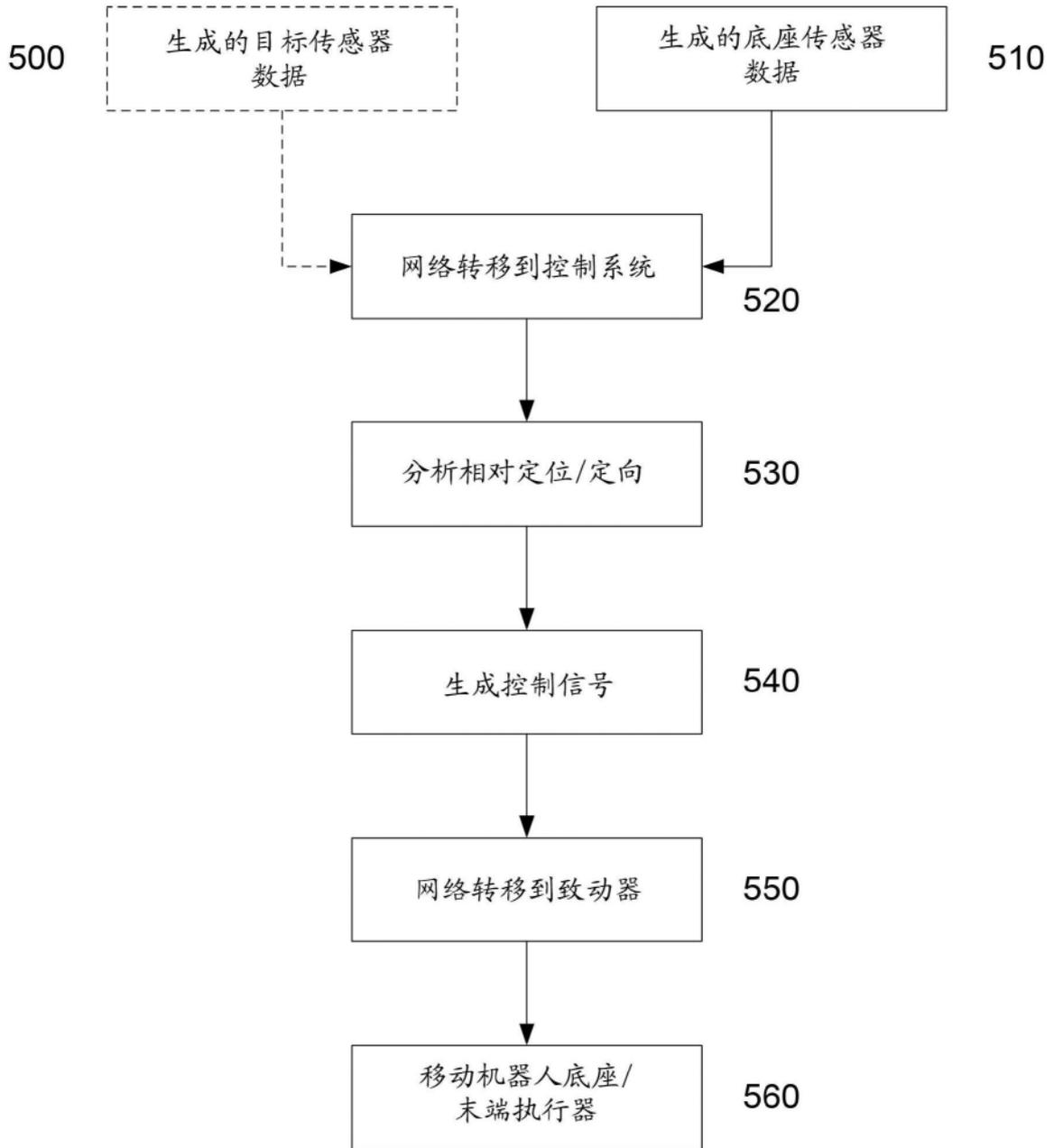


图5

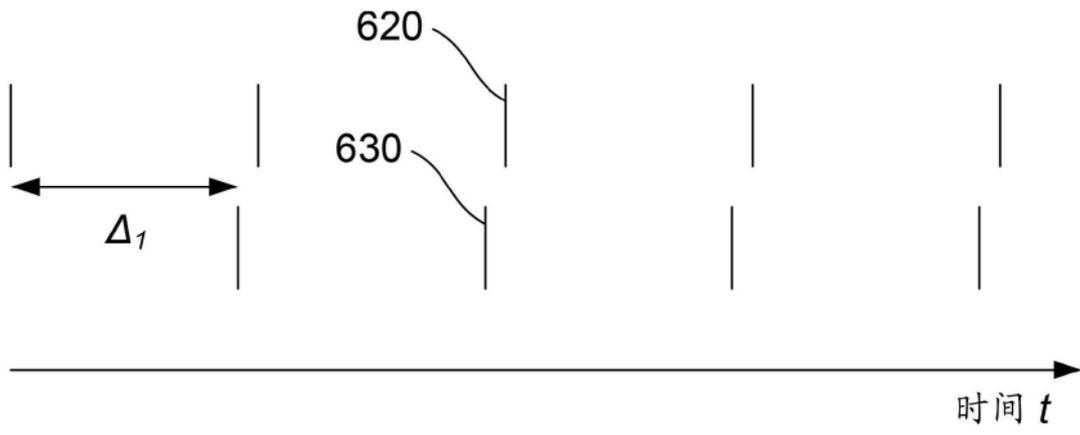


图6A

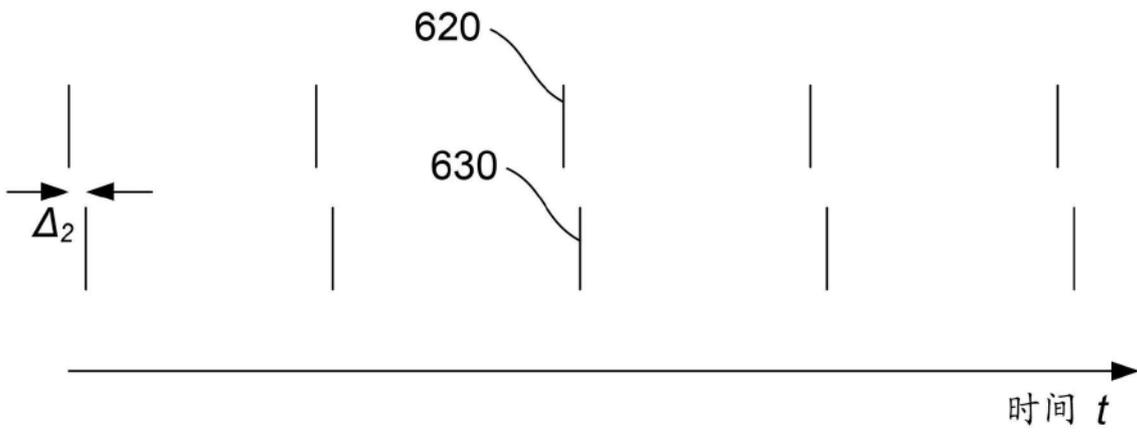


图6B

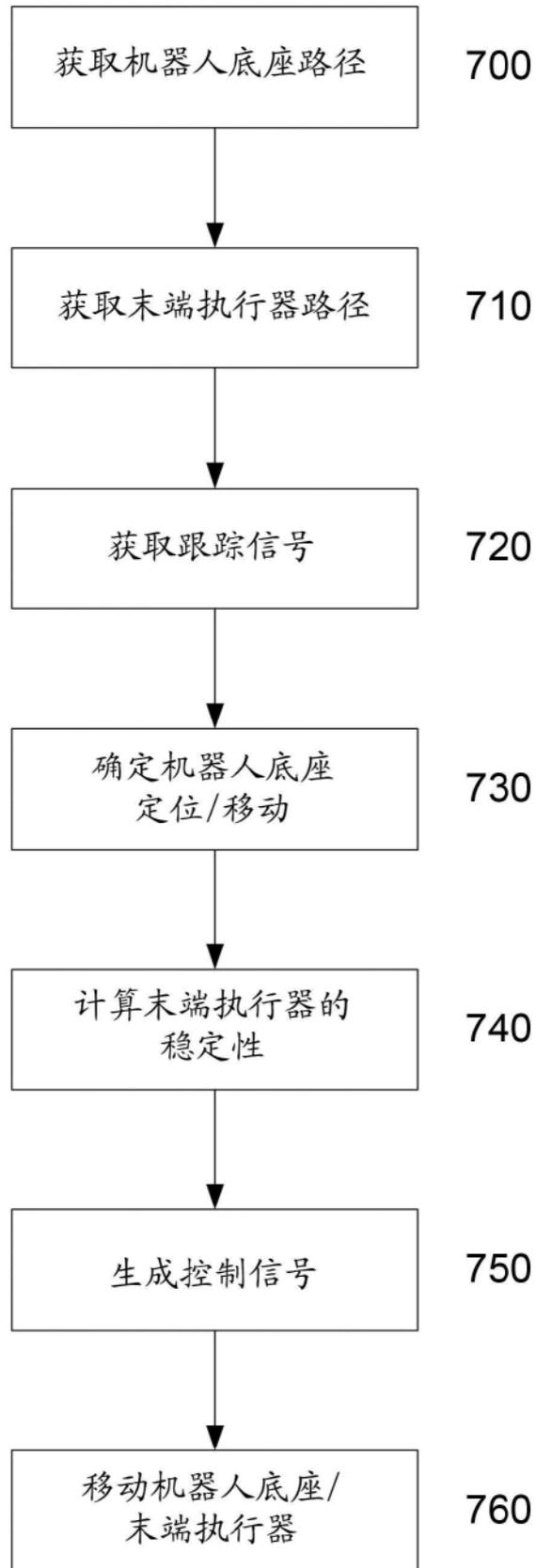


图7

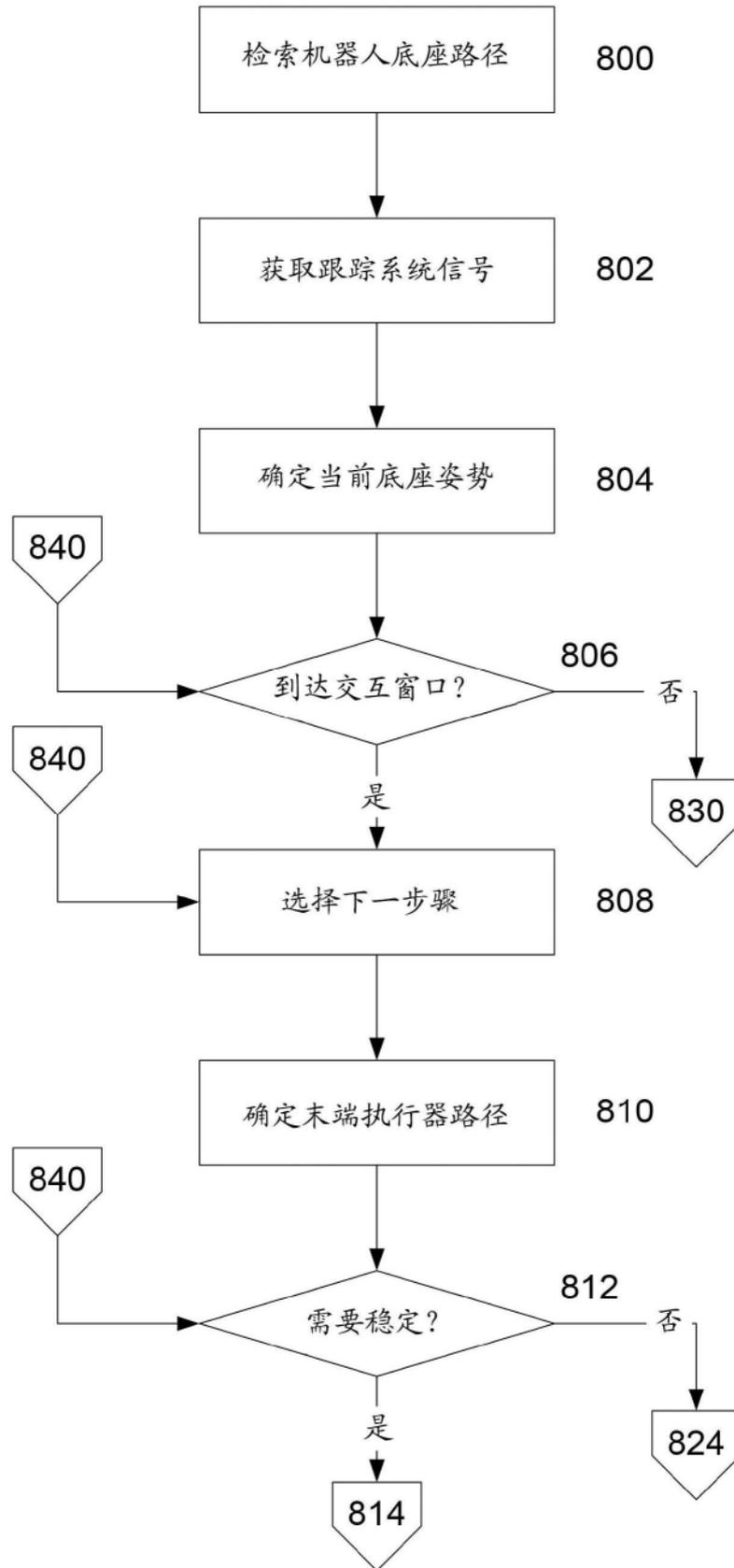


图8A

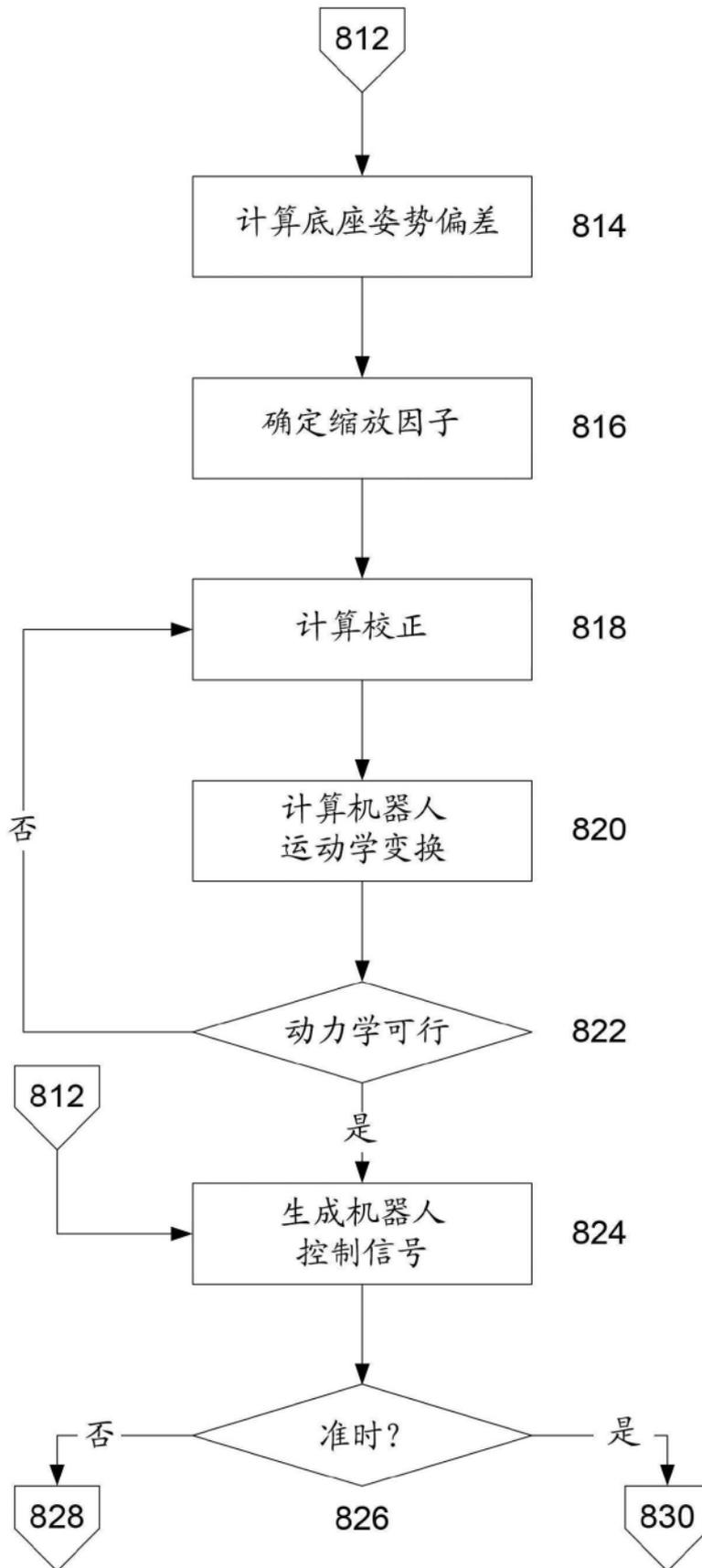


图8B

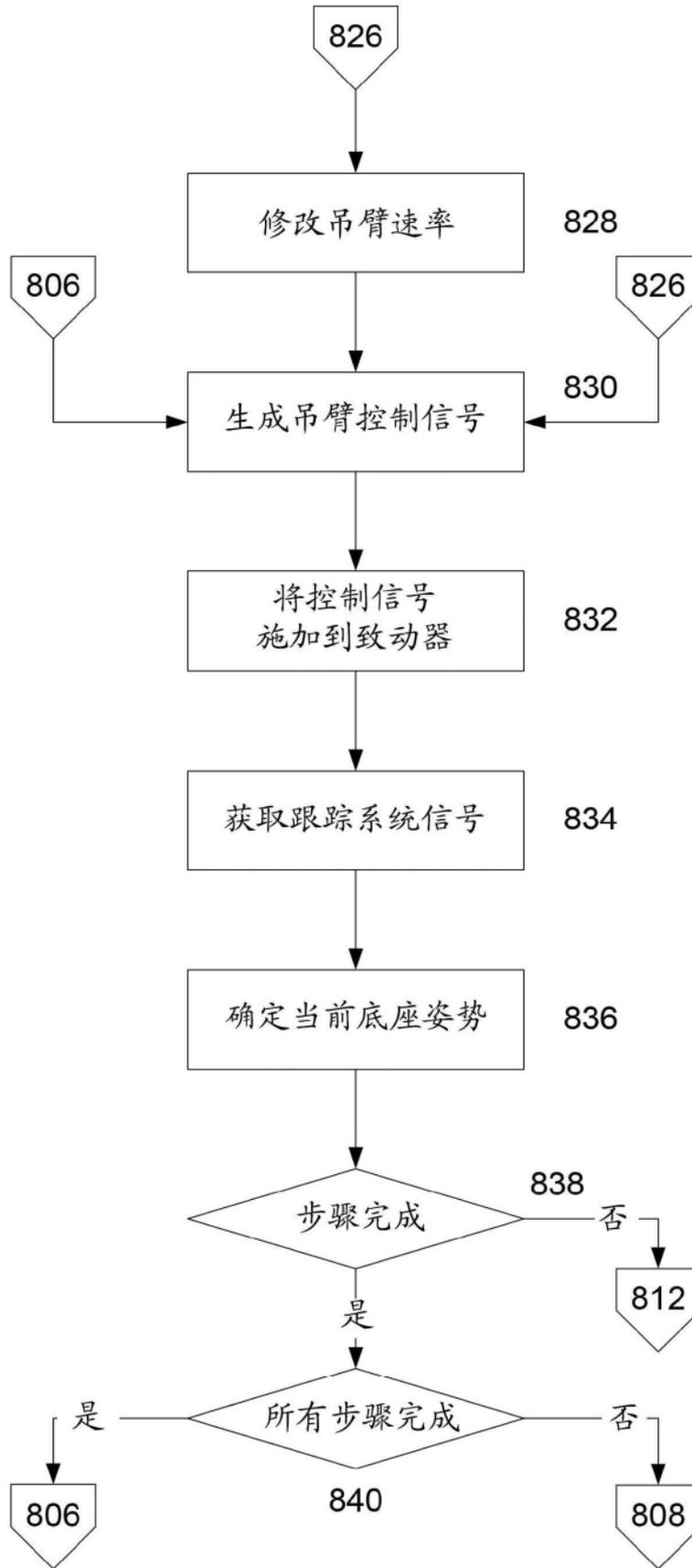


图8C

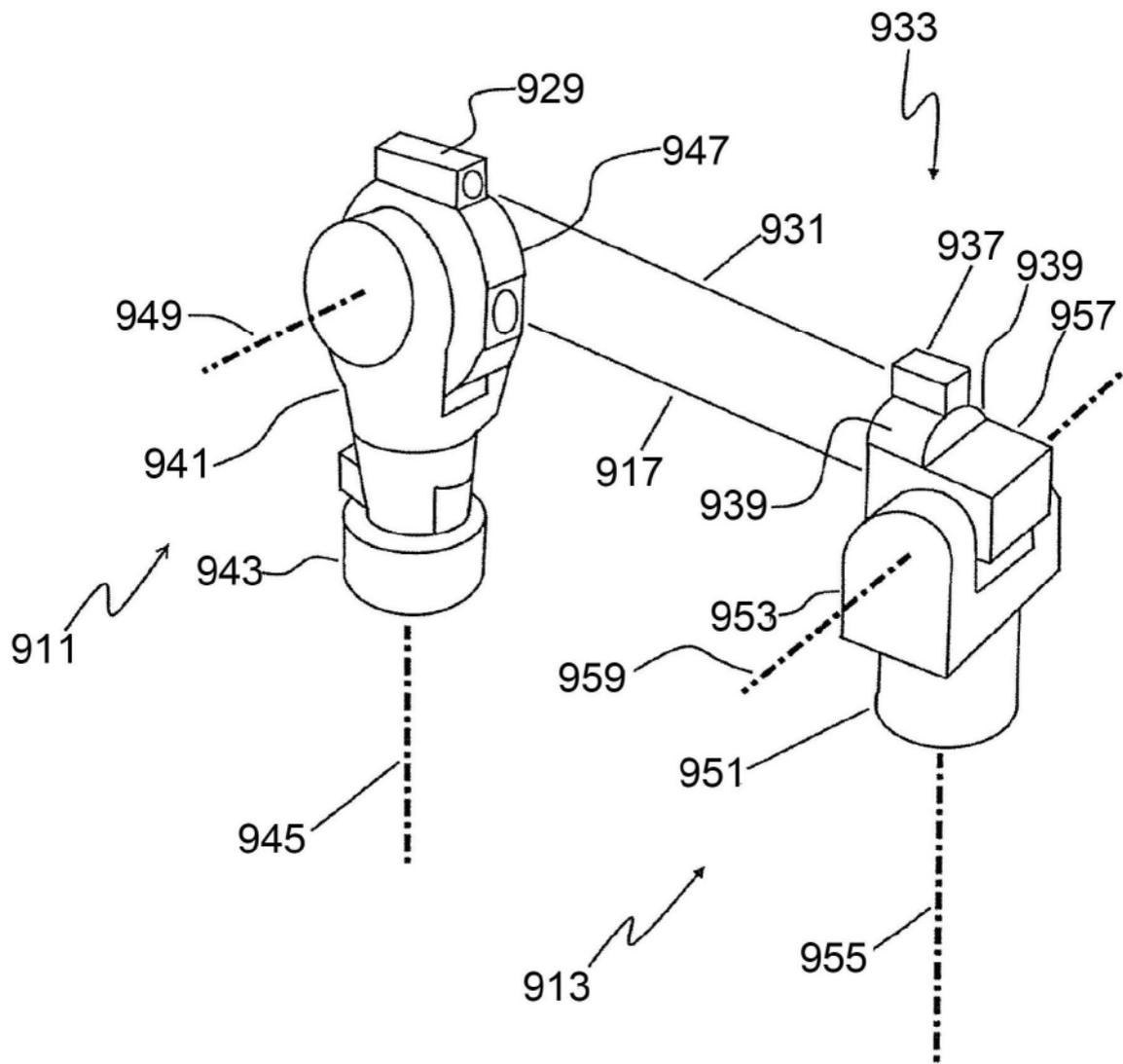


图9

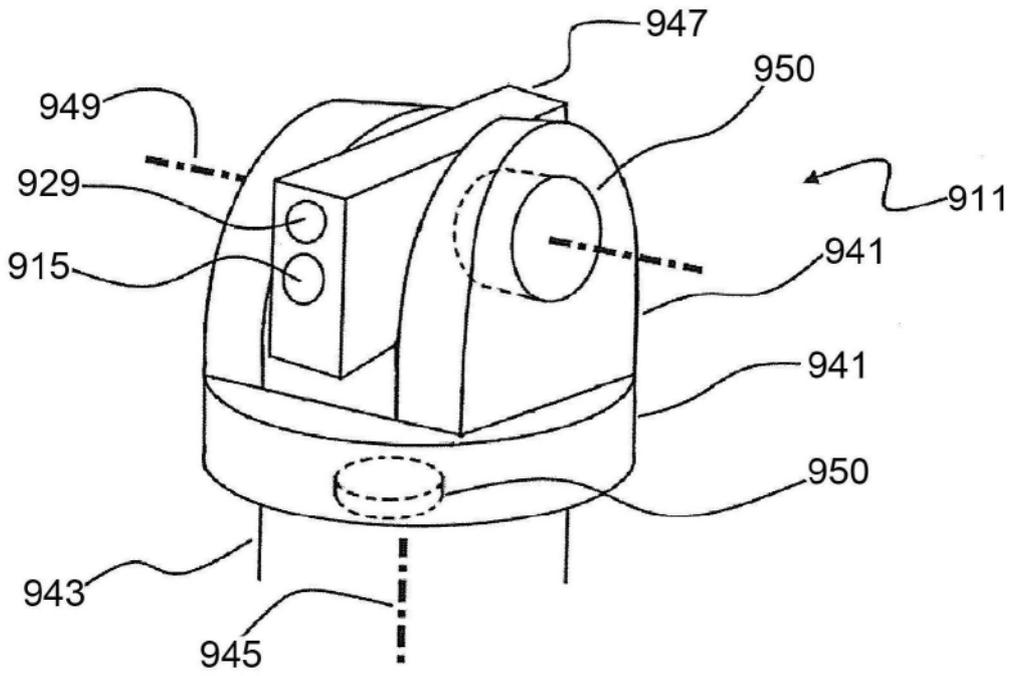


图10

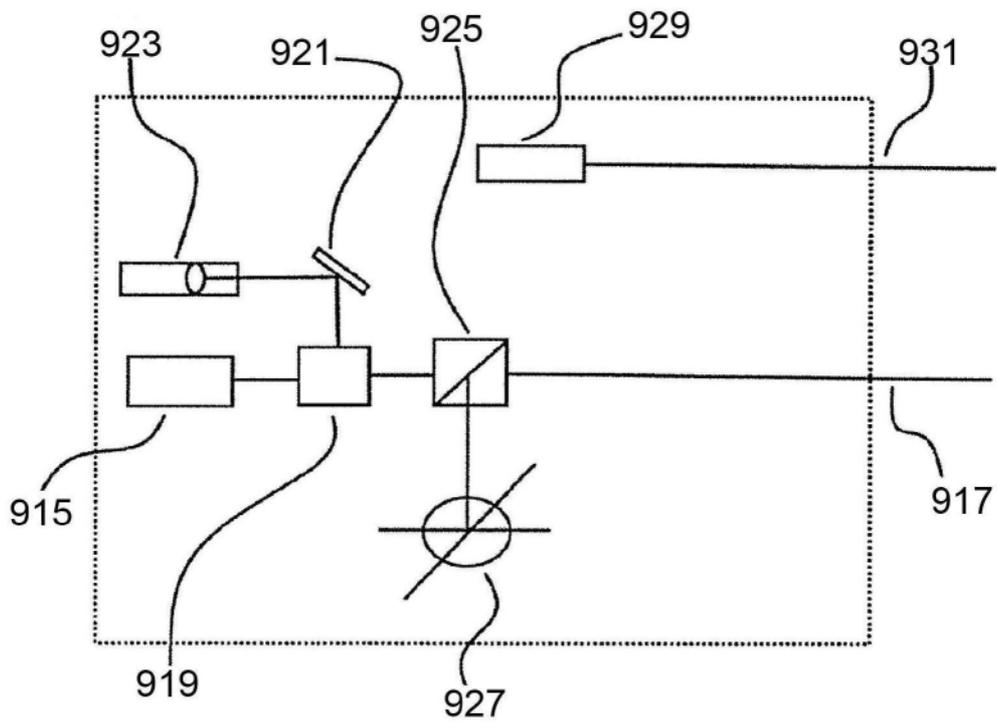


图11

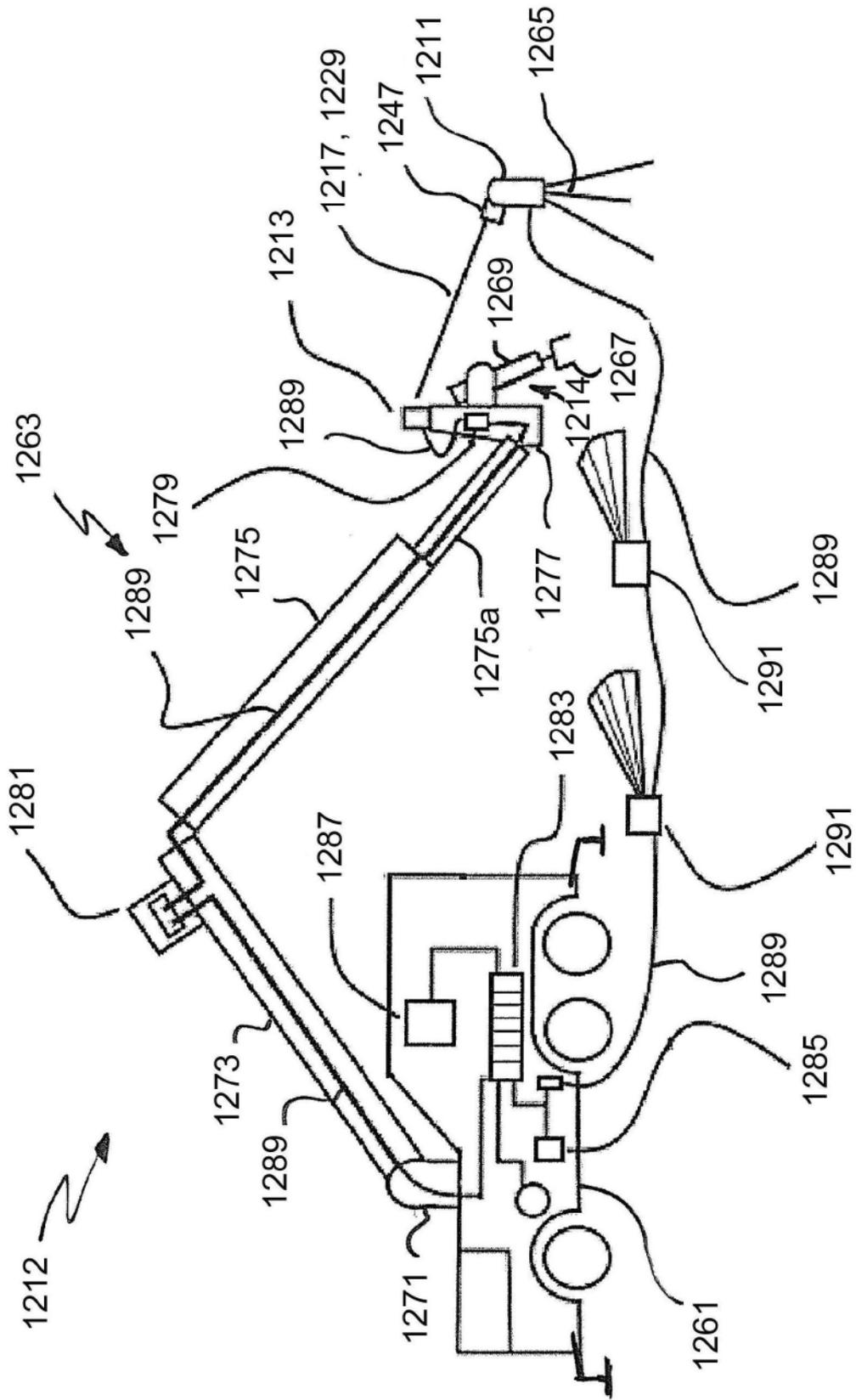


图12

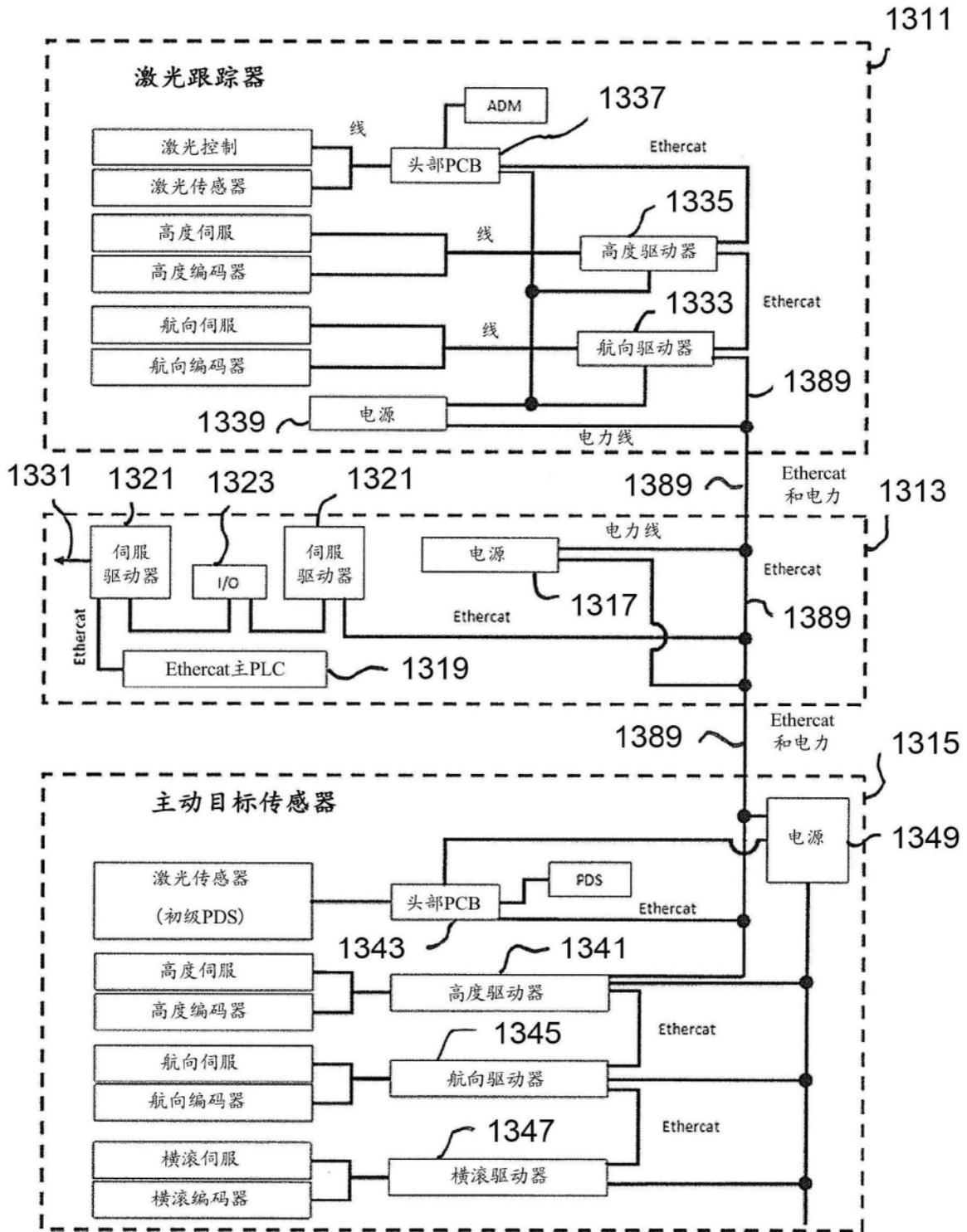


图13

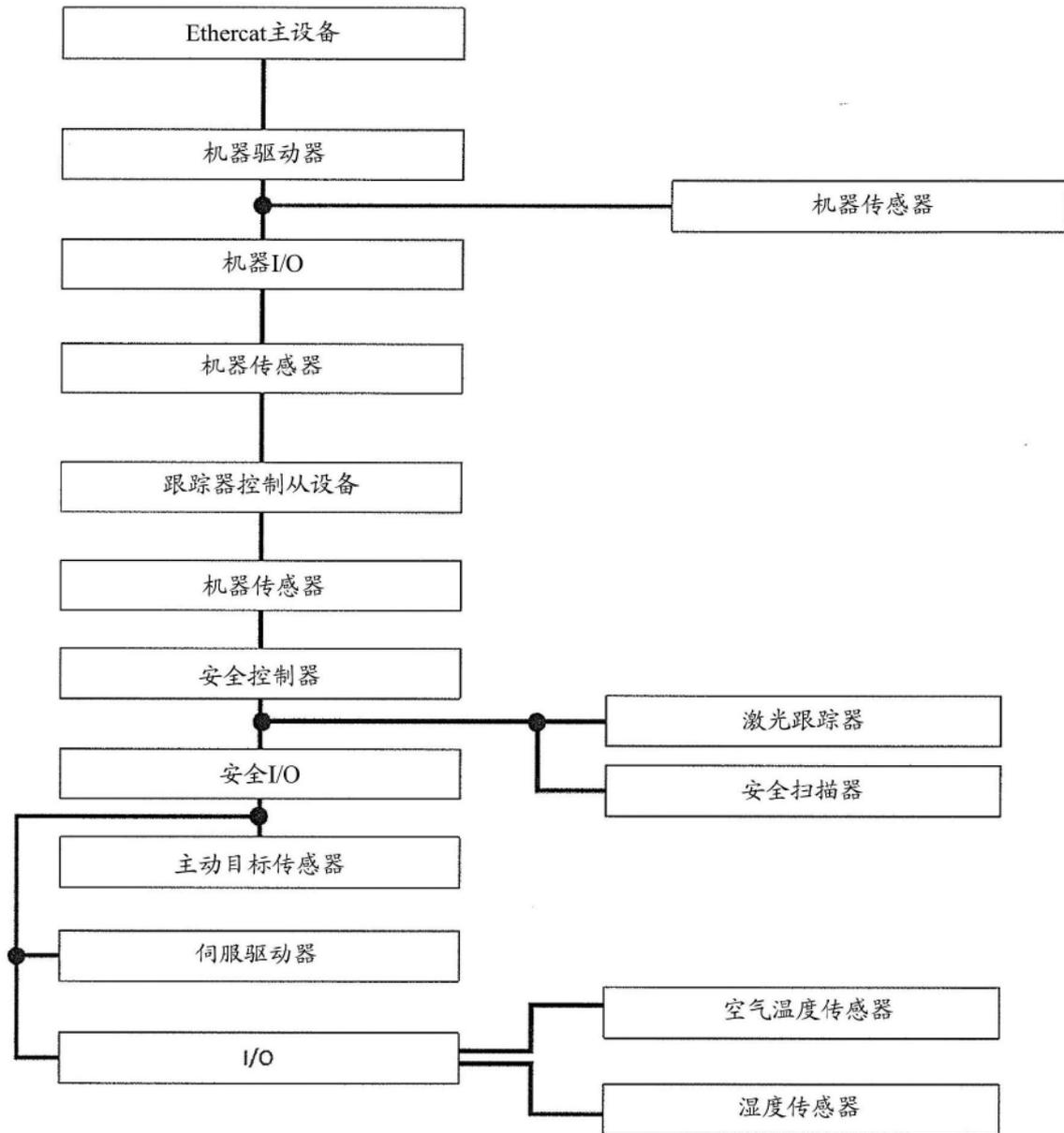


图14