



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110253629 A

(43)申请公布日 2019.09.20

(21)申请号 201910523868.2

(22)申请日 2019.06.18

(30)优先权数据

16/383,389 2019.04.12 US

(71)申请人 牧今科技

地址 日本东京

(72)发明人 R·伊斯兰 叶旭涛 出杏光鲁仙

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事务所 11038

代理人 周衡威

(51)Int.Cl.

B25J 19/00(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

权利要求书6页 说明书23页 附图17页

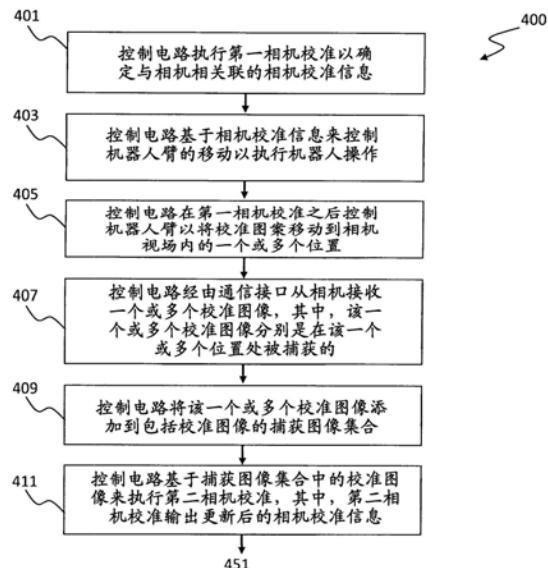
(54)发明名称

用于更新用于机器人控制的相机校准的方法和控制系统

(57)摘要

公开了用于更新用于机器人控制的相机校准的方法和控制系统。具体而言，提出了一种用于更新相机校准的机器人控制系统和方法。该方法包括机器人控制系统执行第一相机校准以确定相机校准信息并且输出基于相机校准信息的第一移动命令以用于机器人操作。该方法进一步包括：在第一相机校准之后输出第二移动命令以在相机视场内移动校准图案；接收一个或多个校准图像；并且将该一个或多个校准图像添加到捕获图像集合。该方法进一步包括：基于捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准以确定更新后的相机校准信息；确定相机校准信息和更新后的相机校准信息之间的偏差是否超过定义的阈值；如果偏差超过定义的阈值，则输出通知信号。

A  
CN 110253629



1. 一种机器人控制系统,包括:

通信接口,所述通信接口被配置为与机器人进行通信并且与具有相机视场的相机进行通信,所述机器人具有基座和其上设置有校准图案的机器人臂;以及

控制电路,所述控制电路被配置为:

执行第一相机校准以确定与相机相关联的相机校准信息,

通过经由所述通信接口将基于所述相机校准信息的第一移动命令输出到所述机器人,基于所述相机校准信息控制所述机器人臂的移动以执行机器人操作,

在所述第一相机校准之后,通过经由所述通信接口将第二移动命令输出到所述机器人,控制所述机器人臂将所述校准图案移动到所述相机视场内的一个或多个位置,

经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个校准图像,其中,所述一个或多个校准图像分别在所述相机视场内的所述一个或多个位置处被捕获的,

将所述一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合,

基于所述捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准,其中所述第二相机校准输出更新后的相机校准信息,

确定所述相机校准信息和所述更新后的相机校准信息之间的偏差,

确定所述偏差是否超过定义的阈值,以及

响应于确定所述偏差超过所述定义的阈值,输出指示所述偏差超过所述定义的阈值的通知信号。

2. 根据权利要求1所述的机器人控制系统,其中,只有当所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数时才执行所述第二相机校准。

3. 根据权利要求1所述的机器人控制系统,其中,所述控制电路被进一步配置为通过以下操作来更新所述捕获图像集合:将最新近捕获的一定数量的一个或多个校准图像添加到所述捕获图像集合,并且从所述捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像,

其中,当执行所述第二相机校准时,所述捕获图像集合中的校准图像的总数量等于定义的目标计数。

4. 根据权利要求1所述的机器人控制系统,其中,所述控制电路被进一步配置为:检测所述机器人操作期间的空闲时段,并且在所述空闲时段期间输出所述第二移动命令以使得所述机器人臂被控制为在所述空闲时段期间将所述校准图案移动到所述一个或多个位置,并且

其中,所述一个或多个相应的校准图像是在所述空闲时段期间在所述一个或多个位置处被捕获的。

5. 根据权利要求4所述的机器人控制系统,其中,所述空闲时段是第一空闲时段,其中,所述控制电路被进一步配置为:

确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数;

在所述第一空闲时段之后,检测所述机器人操作期间的第二空闲时段;

确定所述第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时长,所述定义的校准时长指示完成所述第二相机校准所必需的时间量;

响应于确定所述第二空闲时段长于或等于所述定义的校准时长,在所述第二空闲时段

期间执行所述第二相机校准；以及

响应于确定所述第二空闲时段短于所述定义的校准时段：a) 在所述第二空闲时段期间，经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像，其中，所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的；b) 通过将所述一个或多个附加的图像添加到所述捕获图像集合并且从所述捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像，来更新所述捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合；以及c) 一直等到长于或等于所述定义的校准时段的后续空闲时段来利用所述更新后的捕获图像集合完成所述第二相机校准。

6. 根据权利要求4所述的机器人控制系统，其中，所述空闲时段是第一空闲时段，其中，所述控制电路被进一步配置为：

在所述空闲时段之后，确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数；

检测所述第一空闲时段之后的第二空闲时段；

在所述第二空闲时段期间，经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像，其中，所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的，

将所述一个或多个附加的校准图像添加到所述捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合，

确定所述更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到所述定义的目标计数；

响应于确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到所述定义的目标计数；确定所述第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段，所述定义的校准时段指示完成所述第二相机校准所必需的时间量，

响应于确定所述第二空闲时段内的所述剩余的时间长于或等于所述定义的校准时段，在所述第二空闲时段内的所述剩余的时间期间执行所述第二相机校准。

7. 根据权利要求6所述的机器人控制系统，其中，所述控制电路被进一步配置为响应于确定所述第二空闲时段内的所述剩余的时间短于所述定义的校准时段而进行以下操作：a) 在所述第二空闲时段内的所述剩余的时间期间，经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个后续的附加的校准图像，其中，所述一个或多个后续的附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个后续的附加的位置处被捕获的；b) 通过添加所述一个或多个后续的附加的校准图像并且移除所述捕获图像集合中的最早捕获的相等数量的校准图像来更新所述捕获图像集合；以及c) 一直等到长于或等于所述定义的校准时段的后续空闲时段来利用更新后的捕获图像集合完成所述第二相机校准。

8. 根据权利要求1所述的机器人控制系统，其中，所述控制电路被进一步配置为：

经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像，并且将所述一个或多个附加的校准图像添加到所述捕获图像集合，其中，所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的，

在所述一个或多个附加的校准图像中的每个附加的校准图像已经被添加到所述捕获图像集合之后，确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量是否超过定义的目标计数，

响应于确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量超过所述定义的目标计数,从所述捕获图像集合移除最早捕获的校准图像,

其中,所述第二相机校准是在所述一个或多个附加的图像已经被添加到所述捕获图像集合之后利用所述捕获图像集合的所有校准图像执行的。

9. 根据权利要求1所述的机器人控制系统,其中,所述相机校准信息和所述更新后的相机校准信息包括校准参数的相应的值。

10. 一种更新相机校准的方法,所述方法包括:

由机器人控制系统执行第一相机校准以确定相机校准信息,其中,所述机器人控制系统包括通信接口,所述通信接口被配置为与机器人进行通信并且与相机进行通信,所述机器人具有基座和其上设置有校准图案的机器人臂,所述相机具有相机视场并且与所述相机校准信息相关联;

由所述机器人控制系统经由所述通信接口将基于所述相机校准信息的第一移动命令输出到所述机器人,以使所述机器人臂移动以执行机器人操作;

由所述机器人控制系统在第一相机校准之后经由所述通信接口将第二移动命令输出到所述机器人,以使所述机器人臂将所述校准图案移动到所述相机视场内的一个或多个位置;

由所述机器人控制系统经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个校准图像,其中,所述一个或多个校准图像是分别在所述相机视场内的所述一个或多个位置处被捕获的;

由所述机器人控制系统将所述一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合;

由所述机器人控制系统基于所述捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准,其中,所述第二相机校准输出更新后的相机校准信息;

由所述机器人控制系统确定所述相机校准信息和所述更新后的相机校准信息之间的偏差;

由所述机器人控制系统确定所述偏差是否超过定义的阈值;以及

响应于确定所述偏差超过所述定义的阈值,由所述机器人控制系统输出指示所述偏差超过所述定义的阈值的通知信号。

11. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:

通过以下操作来更新所述捕获图像集合:将最新近捕获的一定数量的一个或多个校准图像添加到所述捕获图像集合,并且从所述捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像,

其中,当执行所述第二相机校准时,所述捕获图像集合中的校准图像的总数量等于定义的目标计数。

12. 根据权利要求10所述的方法,进一步包括:

检测所述机器人操作期间的空闲时段,

其中,所述第二移动命令被输出到所述机器人以使所述机器人臂在所述空闲时段期间将所述校准图案移动到所述相机视场内的所述一个或多个位置,并且

其中,所述一个或多个相应的校准图像是在所述空闲时段期间在所述一个或多个位置

处被捕获的。

13. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述空闲时段是第一空闲时段,其中,所述方法进一步包括:

确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数;

在所述第一空闲时段之后,检测所述机器人操作期间的第二空闲时段;

确定所述第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时段,所述定义的校准时段指示完成所述第二相机校准所必需的时间量;

响应于确定所述第二空闲时段长于或等于所述定义的校准时段,在所述第二空闲时段期间执行所述第二相机校准。

14. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述空闲时段是第一空闲时段,其中,所述方法进一步包括:

确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数;

在所述第一空闲时段之后,检测所述机器人操作期间的第二空闲时段;

确定所述第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时段,所述定义的校准时段指示完成所述第二相机校准所必需的时间量;

响应于确定第二空闲时段短于所述定义的校准时段:在所述第二空闲时段期间经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的;通过添加所述一个或多个附加的图像并且移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像来更新捕获图像集合,以便产生更新后的捕获图像集合;以及一直等到长于或等于所述定义的校准时段的后续空闲时段来利用所述更新后的捕获图像集合完成所述第二相机校准。

15. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述空闲时段是第一空闲时段,其中,所述方法进一步包括:

在所述空闲时段之后,确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数;

检测所述第一空闲时段之后的第二空闲时段;

在所述第二空闲时段期间,经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的,

将所述一个或多个附加的校准图像添加到所述捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合,

确定所述更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到所述定义的目标计数;

响应于确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到所述定义的目标计数:确定所述第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段,所述定义的校准时段指示完成所述第二相机校准所必需的时间量,

响应于确定所述第二空闲时段内的所述剩余的时间长于或等于所述定义的校准时段,在所述第二空闲时段内的所述剩余的时间期间执行所述第二相机校准。

16. 根据权利要求12所述的方法,其中,所述方法进一步包括:

在所述空闲时段之后,确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数;

检测所述第一空闲时段之后的第二空闲时段;

在所述第二空闲时段期间,经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的,

将所述一个或多个附加的校准图像添加到所述捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合,

确定所述更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到所述定义的目标计数;

响应于确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到所述定义的目标计数:确定所述第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段,所述定义的校准时段指示完成所述第二相机校准所必需的时间量,

响应于确定所述第二空闲时段内的所述剩余的时间短于所述定义的校准时段:在所述第二空闲时段内的所述剩余的时间期间,经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个后续的附加的校准图像,其中,所述一个或多个后续的附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个后续的附加的位置处被捕获的;通过添加所述一个或多个后续的附加的校准图像并且移除所述捕获图像集合中的最早捕获的相等数量的校准图像来更新所述捕获图像集合;并且,一直等到长于或等于所述定义的校准时段的后续空闲时段来利用所述更新后的捕获图像集合完成所述第二相机校准。

17. 一种其上存储有指令的非暂时性计算机可读介质,所述指令当被机器人控制系统的控制电路执行时使所述控制电路:

执行第一相机校准以确定相机校准信息,其中,所述机器人控制系统包括通信接口,所述通信接口被配置为与机器人进行通信并且与相机进行通信,所述机器人具有基座和其上设置有校准图案的机器人臂,所述相机具有相机视场并且与所述相机校准信息相关联;

经由所述通信接口将基于所述相机校准信息的第一移动命令输出到所述机器人以使所述机器人臂移动以执行机器人操作;

经由所述通信接口将第二移动命令输出到所述机器人以使所述机器人臂将所述校准图案移动到所述相机视场内的一个或多个位置;

从所述通信接口接收一个或多个校准图像,其中,所述通信接口被配置为从所述相机接收所述一个或多个校准图像,并且其中,所述一个或多个校准图像是分别在所述相机视场内的所述一个或多个位置处被捕获的;

将所述一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合;

基于所述捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准,其中,所述第二相机校准输出更新后的相机校准信息;

确定所述相机校准信息和所述更新后的相机校准信息之间的偏差;

确定所述偏差是否超过定义的阈值;以及

响应于确定所述偏差超过所述定义的阈值,输出指示所述偏差超过所述定义的阈值的通知信号。

18. 根据权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其中,所述指令当被所述机器人的控制系统的控制电路执行时进一步使控制电路通过以下操作来更新所述捕获图像集合:将最新近捕获的一定数量的一个或多个校准图像添加到所述捕获图像集合,并且从所述捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像,

其中,当执行所述第二相机校准时,所述捕获图像集合中的校准图像的总数量等于定义的目标计数。

19. 根据权利要求17所述的非暂时性计算机可读介质,其中,所述指令当被所述机器人的控制系统的控制电路执行时进一步使所述控制电路检测所述机器人操作期间的空闲时段,

其中,所述通信接口被配置为将第二移动命令传送给所述机器人以使所述机器人臂在所述空闲时段期间将所述校准图案移动到所述相机视场内的一个或多个位置,并且

其中,所述一个或多个相应的校准图像是在所述空闲时段期间在所述一个或多个位置处被捕获的。

20. 根据权利要求19所述的非暂时性计算机可读介质,其中,所述空闲时段是第一空闲时段,其中,所述指令当被所述机器人的控制系统的控制电路执行时进一步使所述控制电路:

确定所述捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数;

在所述第一空闲时段之后,检测所述机器人操作期间的第二空闲时段;

确定所述第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时长,所述定义的校准时长指示完成所述第二相机校准所必需的时间量;

响应于确定所述第二空闲时段长于或等于所述定义的校准时长,在所述第二空闲时段期间执行所述第二相机校准;以及

响应于确定所述第二空闲时段短于所述定义的校准时长:a) 在所述第二空闲时段期间,经由所述通信接口从所述相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,所述一个或多个附加的校准图像是分别在所述相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的;b) 通过将所述一个或多个附加的图像添加到所述捕获图像集合并且从所述捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像,来更新所述捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合;以及c) 一直等到长于或等于定义的校准时长的后续空闲时段来利用所述更新后的捕获图像集合完成所述第二相机校准。

## 用于更新用于机器人控制的相机校准的方法和控制系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于更新用于机器人控制的相机校准的方法和控制系统。

### 背景技术

[0002] 随着自动化变得越来越普遍,机器人正被用于更多的环境中,诸如被用于仓储和制造环境中。例如,机器人可以用于将物品装载到仓库里的托盘上或从仓库里的托盘卸载下来、或者从工厂里的传送带拾取对象。机器人的移动可以是固定的,或者可以是基于输入,诸如由仓库或工厂里的相机拍摄的图像。在后一种情况下,可以执行校准以便确定相机的性质并且确定相机和机器人所在的环境之间的关系。校准可以被称为相机校准,并且可以产生用于基于由相机拍摄的图像控制机器人的相机校准信息。在一些实现中,相机校准可以涉及由可以手动地控制机器人的移动或手动地控制相机以捕获机器人的图像的人进行的手动操作。

### 发明内容

[0003] 本文中的实施例的一个方面涉及更新用于机器人控制的相机校准。相机校准更新可以由包括通信接口和控制电路的机器人控制系统执行。通信接口可以被配置为与具有基座和其上设置有校准图案的机器人臂的机器人通信、并且与具有相机视场的相机通信。机器人控制系统的控制电路可以被配置为:a)执行第一相机校准以确定相机校准信息;b)经由通信接口将基于相机校准信息的第一移动命令输出到机器人以使机器人臂移动以执行机器人操作;c)在第一相机校准之后经由通信接口将第二移动命令输出到机器人以使机器人臂将校准图案移动到相机视场内的一个或多个位置;d)从相机接收一个或多个校准图像,其中,所述一个或多个校准图像是分别在相机视场内的所述一个或多个位置处被捕获的;e)将所述一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合;f)基于捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准,其中,第二相机校准输出更新后的相机校准信息;g)确定相机校准信息和更新后的相机校准信息之间的偏差;h)确定偏差是否超过定义的阈值;i)响应于确定偏差超过定义的阈值,输出指示偏差超过定义的阈值的通知信号。

### 附图说明

[0004] 从以下对如附图所示的本发明的实施例的描述,本发明的前述及其他特征、目的和优点将是清楚的。合并在本文中并且形成本说明书的一部分的附图进一步用于说明本发明的原理并且使得相关领域的技术人员能够做出和使用本发明。附图是不按比例的。

[0005] 图1A和1B描绘根据本文中的实施例的在其中执行相机校准的更新的机器人操作系统的框图。

[0006] 图1C描绘根据本文中的实施例的被配置为执行相机校准的更新的机器人控制系统的框图。

[0007] 图1D描绘根据本文中的实施例的对其执行相机校准的相机框图。

[0008] 图2描绘例示说明根据本文中的实施例的、基于从相机校准获得的相机校准信息进行控制的机器人的机器人操作系统。

[0009] 图3描绘根据本文中的实施例的用于执行相机校准的机器人操作系统。

[0010] 图4A和4B提供例示说明根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例方法的流程图。

[0011] 图5A和5B描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例机器人操作系统,在该机器人操作系统中,在空闲时段期间执行相机校准。

[0012] 图6A和6B描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例机器人操作系统,在该机器人操作系统中,在机器人任务时段、空闲时段或它们的组合期间执行相机校准。

[0013] 图7A和7B描绘根据本文中的实施例的当捕获校准图案的各个校准图像时校准图案所在的参考位置的示例。

[0014] 图8描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例时间线,在该时间线中,在空闲时段期间执行相机校准。

[0015] 图9描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例流程图,在该流程图中,在空闲时段期间执行相机校准。

[0016] 图10描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例时间线,在该时间线中,在机器人任务时段、空闲时段或它们的组合期间执行相机校准。

[0017] 图11描绘根据本发明的实施例的用于执行并且更新相机校准的示例流程图,在该流程图中,在机器人任务时段、空闲时段或它们的组合期间执行相机校准。

## 具体实施方式

[0018] 以下详细描述本质上仅仅是示例性的,而非意图限制本发明或本发明的应用和使用。此外,并不意图受前述的技术领域、背景技术、发明内容或以下详细描述中呈现的任何表达的或隐含的理论的约束。

[0019] 本文中所描述的实施例涉及更新用于控制机器人(诸如仓库、制造厂里或一些其他的环境中使用的机器人)的相机的校准。校准可以被称为相机校准,并且可以由例如机器人控制系统(也被称为机器人控制器)执行,以产生促进机器人控制系统基于相机捕获(例如,拍摄)的图像控制机器人的能力的相机校准信息。例如,机器人可以用于拾取仓库里的包裹,其中,机器人的机器人臂或其他部件的放置可以基于相机捕获的包裹的图像。在这种情况下,相机校准信息可以与包裹的图像一起用来确定例如包裹相对于机器人的机器人臂的位置和朝向。相机校准可以涉及例如确定校准参数的相应的值,诸如对相机的固有参数(也可以被称为内部参数)的相应估计、和/或对相机与其外部环境之间的关系的估计。相机的固有参数可以具有一个或多个参数值,诸如矩阵、矢量或标量值。此外,固有参数的示例包括投影矩阵和失真参数。在一种情况下,相机校准可以涉及确定相机相对于外部环境中的固定位置的位置,该位置可以被表达为表示相机和外部环境中的固定位置之间的关系的变换函数。在一些情况下,相机校准可以在校准图案的帮助下执行,所述校准图案可以具有设置在校准图案上的定义的位置处的图案元素。相机可以捕获校准图案的图案元素的图像(也被称为校准图像),并且可以基于比较图案元素的图像与图案元素的定义的位置来执行

相机校准。相机校准在2019年3月7日提交的、标题为“METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING AUTOMATIC CAMERA CALIBRATION TO CONTROL A ROBOT BASED ON IMAGES FROM A CAMERA”的美国申请No.16/295,940中有更详细的讨论,该申请在下文中被称为“申请MJ0021US1”,该申请的全部内容通过引用并入本文。

[0020] 如上所述,本公开的一方面涉及对在较早的时间点执行了的相机校准进行更新以便获得在后来的时间点仍然准确的相机校准信息。在较早的时间点执行了的相机校准可以产生反映相机在该较早的时间点的性质的相机校准信息,诸如在该时间点的相机的固有参数或相机与其外部环境之间的关系。在一些情况下,因为相机的性质可能随着时间变化,所以较早的相机校准可能随着时间失去准确度。在第一示例中,相机的固有参数可能随着时间变化。这样的变化可能是由例如改变相机的壳体和/或镜头的形状的温度变化引起的。在第二示例中,相机与其外部环境之间的关系可能随着时间变化。例如,相机相对于例如机器人的基座或仓库里的位置的位置或朝向可能移位。这样的变化可能是由例如使用于安装相机的任何部件膨胀或收缩的温度变化、撞上相机的人或其他对象、相机的外部环境(例如,仓库)中的振动、来自相机自己的重量的力(即,重力)、或某个其他的因素引起的。这些变化可能使相机校准信息随着时间前进而过时,使用该相机校准信息在后来的时间点对机器人的机器臂或其他部件进行定位可能导致误差。换句话说,如果与相机相关联的性质已经随着时间而变化,但是相机校准信息没有被更新来反映这样的变化,则机器人可能基于过时的或者错误的相机校准信息来进行操作,从而在机器人的操作中引起不期望的误差。为了解决相机的一个或多个性质的变化可能发生的可能性,机器人控制系统可以基于更新近的校准图像来自动地确定更新后的相机校准信息。在一些情况下,机器人控制系统可以维护捕获图像集合,该捕获图像集合充当识别一定数量的最新近的校准图像的滑动窗口,其中,滑动窗口中的校准图像被用于更新相机校准并且产生更新后的相机校准信息。在实施例中,更新后的相机校准信息可以用于执行检测相机的性质的变化或相机与其外部环境之间的关系的变化的验证。可以通过例如检测校准信息在短暂的时段期间的显著变化来检测该变化。在一些实现中,如果相机的性质变化地太快和/或太剧烈,则该检测可以产生通知信号。这样的变化在一些情况下可以反映相机或相机的外部环境中的不期望的状况。通知信号可以例如被传送给用户接口设备(例如,膝上型电脑),该用户接口设备可以向机器人操作者或其他用户警告这样的不期望的状况的潜在存在。

[0021] 本文中的实施例的一方面涉及通过基于更新近捕获的校准图像执行后续相机校准(也被称为稍后的相机校准)来更新第一相机校准,所述更新近捕获的校准图像可以是校准图案的图像。在一些情况下,如果比第一相机校准更新近的足够数量的校准图像已经被相机捕获,则可以执行后续相机校准。例如,在执行后续相机校准之前,校准图像的数量可能必须达到目标计数。目标计数可以是提供给机器人控制系统的定义的值,或者可以是由机器人控制系统动态地确定的定义的值。在一些情况下,后续相机校准可以使用捕获图像集合,该捕获图像集合保留定义的数量的最新近的捕获图像。在这样的情况下,可以存储在机器人控制系统上或其他地方的捕获图像集合可以充当滑动窗口(该滑动窗口添加最新近捕获的校准图像并且丢弃相等数量的最旧的校准图像),以使得后续相机校准使用定义的数量的最新近捕获的校准图像,以便提供更新后的相机校准信息。

[0022] 在实施例中,可以通过比较来自第一相机校准的相机校准信息与来自后续相机校

准的相机校准信息来执行对相机的性质的变化或其外部环境中的变化的检测。该比较可以由例如机器人控制系统(也被称为机器人控制器)执行,当来自后续相机校准的相机校准信息偏离第一相机校准的相机校准信息达到不期望的量和/或以不期望的速率偏离第一相机校准的相机校准信息时,机器人控制系统可以输出通知信号。在一些情况下,第一相机校准可以是在开始机器人操作之前执行以确定关于相机的相机校准信息的初始相机校准。在一种情况下,可以通过以下操作来执行第一相机校准,即,经由初始移动命令控制机器人将校准图案移动到相机的视场(也被称为相机的相机视场)内的参考位置,捕获校准图案在各个参考位置的初始校准图像,并且基于初始校准图像来执行第一相机校准。参考位置的位置可以是随机选择的,或者可以是定义的(例如,手动定义,或者由机器人控制系统动态计算)。

[0023] 在第一相机校准之后,机器人可以通过基于从第一相机校准确定的相机校准信息移动机器人来执行机器人操作。在机器人操作期间,更多的校准图像被相机在相机视场内的各个位置捕获到,并且被添加到捕获图像集合。如上所述,在一些情况下,只有当捕获图像集合中的校准图像的总数量已经到达定义的目标计数(这可以指示足够数量的新近的校准图像可用于可靠的相机校准)时,才可以执行后续相机校准。在一些情况下,目标计数可以指示用于可靠地更新相机校准的校准图像的最小数量。在实施例中,在机器人控制系统执行初始相机校准或者更一般地说第一相机校准之后,机器人控制系统随后可以接收校准图像并且将它们放置在捕获图像集合中。捕获图像集合中的校准图像因此可以用于执行后续相机校准或者更一般地说第二相机校准,第二相机校准输出更新后的相机校准信息。在实施例中,可以确定来自第一相机校准的相机校准信息和来自第二相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量。如果偏差量超过定义的阈值,则输出指示偏差量超过定义的阈值(也可以被称为偏差阈值)的通知信号。在实施例中,偏差量超过定义的阈值可以指示机器人操作可能没有被可靠地执行,和/或操作者或其他用户需要被通知。因此,如果偏差量超过定义的阈值,则可以停止或暂停机器人操作,以防止机器人操作期间的机器人任务中的不期望的误差,和/或可以将通知输出到用户接口设备。另一方面,如果偏差量没有超过定义的阈值,则可以在捕获校准图案的新的校准图像的同时继续进行机器人操作。

[0024] 取决于机器人的特性或配置,校准图像可以只在机器人操作的空闲时段期间被捕获,或者可以不使用空闲时段(例如,在机器人拾取对象的时段期间)捕获。在实施例中,空闲时段可以是在机器人操作期间机器人没有机器人任务的时段。在一个示例中,空闲时段可以用于校准图案被设置在机器人的在机器人任务正被执行时不经常面对相机的一部分上的情形。在这样的示例中,空闲时段可以用于将校准图案移动为面对相机并且经由相机捕获校准图案。在另一个示例中,对于校准图案可以例如设置在机器人的在机器人正在执行机器人任务时可能经常面对相机的一部分上的情形,可以跳过空闲时段。

[0025] 在实施例中,如果校准图像将仅在空闲时段期间捕获,则第二相机校准可能也仅在空闲时段期间完成。如2019年3月7日提交的、标题为“METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING AUTOMATIC CAMERA CALIBRATION TO CONTROL A ROBOT BASED ON IMAGES FROM A CAMERA”的美国申请No.16/295,940(案号MJ0021US1)中更详细地讨论的,完成第二相机校准可能涉及例如执行计算以基于校准图像确定固有参数、和/或基于校准图像确定将相机与其外部环境相关的变换函数,该申请的全部内容通过引用并入本文。在一些情况

下,用于完成第二相机校准的计算或其他步骤可以仅在至少长达定义的校准时段的空闲时段期间执行。定义的校准时段可以指示完成第二相机校准所必需的时间(例如,执行计算所必需的时间)。如果空闲时段内的时间量短于定义的校准时段,则完成第二相机校准中所涉及的计算或其他步骤可以推后到后续的空闲时段。在一些情况下,如果计算被推后到后续的空闲时段,则当前空闲时段仍可以用于控制相机捕获更多的校准图像,以使得当在该后续时段内执行计算时,这些计算是用来自当前空闲时段的最新近的捕获的校准图像来执行的。

[0026] 图1A例示说明用于执行自动相机校准和相机校准的自动更新的机器人操作系统100(也被称为系统100)的框图。机器人操作系统100包括机器人150、机器人控制系统110(也被称为机器人控制器)和相机170。在实施例中,系统100可以位于仓库、制造厂或其他场所内。机器人控制系统100可以被配置为执行下面更详细地讨论的相机校准以确定稍后用于控制机器人150执行机器人操作(诸如拾取仓库里的包裹)的相机校准信息。机器人控制系统110可以进一步被配置为更新也将在下面更详细地讨论的相机校准、并且检测相机校准信息变化得太多或太快的情形,该情形可以指示相机170或其外部环境中的不期望的状况。在一些情况下,机器人控制系统110被配置为执行相机校准并且基于相机校准信息来控制机器人150执行机器人操作。在一些情况下,机器人控制系统110可以形成与机器人150和相机170通信的单个设备(例如,单个控制台或单个计算机)。在一些情况下,机器人控制系统110可以包括多个设备。

[0027] 在一些情况下,机器人控制系统110可以专用于执行相机校准和/或相机校准的更新,并且可以将最当前的相机校准信息传送给另一个控制系统(也被称为另一个控制器,未示出),该另一个控制系统然后基于最当前的相机校准信息来控制机器人150执行机器人操作。机器人150可以基于相机170捕获的图像和相机校准信息而定位。更具体地说,在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为基于图像并且基于相机校准信息来生成移动命令并且将移动命令传送给机器人150以控制其机器人臂的移动。在一些情况下,机器人控制系统110被配置为在机器人操作中的空闲时段期间执行相机校准的更新。在一些情况下,机器人控制系统110被配置为在用机器人150执行机器人操作的同时执行更新。

[0028] 在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为经由有线或无线通信与机器人150和相机170进行通信。例如,机器人控制系统110可以被配置为经由RS-232接口、通用串行总线(USB)接口、以太网接口、**Bluetooth®**接口、IEEE 802.11接口或它们的任何组合来与机器人150和/或相机170进行通信。在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为经由本地计算机总线(诸如外围部件互连(PCI)总线)与机器人150和/或相机170进行通信。

[0029] 在实施例中,机器人控制系统110可以与机器人150分开,并且可以经由以上讨论的无线或有线连接与机器人进行通信。例如,机器人控制系统110可以是被配置为经由有线连接或无线连接与机器人150和相机170进行通信的独立计算机。在实施例中,机器人控制系统110可以是机器人150的集成部件,并且可以经由以上讨论的本地计算机总线与机器人150的其他部件进行通信。在一些情况下,机器人控制系统110可以是仅控制机器人150的专用控制系统(也被称为专用控制器)。在其他情况下,机器人控制系统110可以被配置为控制多个机器人,包括机器人150。在实施例中,机器人控制系统110、机器人150和相机170位于同一场所(例如,仓库)。在实施例中,机器人控制系统110可以远离机器人150和相机170,并

且可以被配置为经由网络连接(例如,局域网(LAN)连接)与机器人150和相机170进行通信。

[0030] 在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为从相机170检索或以其他方式接收设置在机器人150上(例如,机器人的机器人臂上)的校准图案160的图像。在一些情况下,机器人控制系统110可以被配置为控制相机170捕获这样的图像。例如,机器人控制系统110可以被配置为产生使相机170捕获相机170的视场(也被称为相机视场)的图像的相机命令、并且经由有线或无线连接将相机命令传送给相机170。同一命令可以使相机170还将图像传送给机器人控制系统110或者更一般地说机器人控制系统110可访问的存储设备。可替代地,机器人控制系统110可以产生使相机170在接收到相机命令时将它已经捕获的(一个或多个)图像传送给机器人控制系统110的另一个相机命令。在实施例中,相机170可以周期性地或响应于定义的触发条件,在不需要来自机器人控制系统110的相机命令的情况下,自动地捕获其相机视场中的图像。在这样的实施例中,相机170还可以被配置为在没有来自机器人控制系统110的相机命令的情况下,自动地将图像传送给机器人控制系统110或者更一般地说机器人控制系统110可访问的存储设备。

[0031] 在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为经由机器人控制系统110产生的并且通过有线或无线连接传送给机器人150的移动命令来控制机器人150的移动。机器人150可以被配置为在机器人150上具有校准图案160。例如,校准图案160可以被永久地设置在机器人150上,或者可以是可以附连到机器人150并且可以从机器人150拆卸的单独的部件。

[0032] 在实施例中,在系统100中用来控制机器人150的唯一图像可以是相机170捕获的那些图像。在另一个实施例中,系统100可以包括多个相机,机器人150可以通过来自多个相机的图像来控制。

[0033] 图1B例示机器人操作系统100A,其包括机器人150、机器人控制系统110、相机170和用户接口设备180。机器人150可以具有设置在机器人150上的校准图案。在一些情况下,机器人操作系统100A可以执行初始相机校准或者更一般地说第一相机校准以获得初始相机校准信息,初始相机校准信息可以充当基线相机校准信息。机器人操作系统100A随后可以随着时间执行附加的相机校准以获得更新后的相机校准信息。机器人操作系统100A可以监视更新后的相机校准信息和基线相机校准信息之间的偏差量是否超过定义的阈值。如果偏差量在机器人操作期间被确定为超过定义的阈值,则机器人控制系统110可以将通知信号输出到用户接口设备180。用户接口设备180可以被配置为与机器人150的操作者(诸如机器人150所在的仓库里的雇员)对接。用户接口设备180可以包括例如提供显示与机器人150的操作相关的信息的用户接口的平板计算机或台式计算机。在一种情况下,用户接口设备180可以提供向操作者通知偏差量超过定义的阈值的警报或其他警告。通知信号可以反映例如相机170的性质变化得太多或太快或者相机170和机器人150之间的关系变化得太多或太快的不期望的状况。

[0034] 图1C描绘机器人控制系统110的框图。如该框图所示,机器人控制系统110包括控制电路111、通信接口113和非暂时性计算机可读介质115(例如,存储器)。在实施例中,控制电路111可以包括一个或多个处理器、可编程逻辑电路(PLC)或可编程逻辑阵列(PLA)、现场可编程门阵列(FPGA)、专用集成电路(ASIC)或任何其他的控制电路。

[0035] 在实施例中,通信接口113可以包括被配置为与图1A或1B的相机170和图1A或1B的机器人150通信的一个或多个部件。例如,通信接口113可以包括被配置为通过有线或无线

协议执行通信的通信电路。作为示例,通信电路可以包括RS-232端口控制器、USB控制器、以太网控制器、**Bluetooth®**控制器、PCI总线控制器、任何其他的通信电路、或它们的组合。

[0036] 在实施例中,非暂时性计算机可读介质115可以包括计算机存储器。计算机存储器可以包括例如动态随机存取存储器(DRAM)、固态集成存储器、和/或硬盘驱动器(HDD)。在一些情况下,相机校准可以通过存储在非暂时性计算机可读介质115上的计算机可执行指令(例如,计算机代码)来实现。在这样的情况下,控制电路111可以包括被配置为执行所述计算机可执行指令以执行相机校准的更新(例如,图4A、4B、9和11所示的步骤)的一个或多个处理器。

[0037] 图1D例示相机170的框图,相机170包括一个或多个镜头171、图像传感器173和通信接口175。通信接口175可以被配置为与图1A、1B或1C的机器人控制系统110通信,并且可以类似于机器人控制系统110的图1C的通信接口113。在实施例中,一个或多个镜头171可以使来自相机170外部的光聚焦到图像传感器173上。在实施例中,图像传感器173可以包括被配置为经由各个像素强度值表示图像的像素阵列。图像传感器173可以包括电荷耦合器件(CCD)传感器、互补金属氧化物半导体(CMOS)传感器、量子图像传感器(QIS)或任何其他的图像传感器。

[0038] 如上所述,可以执行相机校准以便促进基于相机捕获的图像对机器人进行控制。例如,图2描绘机器人操作系统200(也被称为系统200),在机器人操作系统200中,使用图像来控制机器人250执行机器人操作,诸如拾取仓库里的对象292的操作。更具体地说,系统200可以是图1A的系统100的实施例,并且包括相机270、机器人250和机器人控制系统110。相机270可以是图1A、1B或1D的相机170的实施例,机器人250可以是图1A或1B的机器人150的实施例。相机270可以被配置为捕获设置在仓库里的传送带293上的对象292(例如,用于装运的包裹)的图像,机器人控制系统110可以被配置为控制机器人250拾取对象292。当在传送带293上存在一个或多个对象时,机器人控制系统110可以被配置为调度机器人250的移动来拾取对象。机器人控制系统110在一些情况下可以被配置为通过检测在传送带293上何时没有对象或者在传送带293上何时没有在机器人250的可达范围内的对象来检测机器人操作的空闲时段。

[0039] 在图2的实施例中,机器人250可以具有基座252和可相对于基座252移动的机器人臂。更具体地说,机器人臂可以包括多个连杆254A至254E、以及附连到连杆254E的机器人手255。多个连杆254A至254E可以相对于彼此旋转,和/或可以是可相对于彼此直线移动的棱柱形连杆。因为图2包含用于拾取对象的机器人250,所以机器人手255可以包括用于抓取对象292的夹持器255A和255B。在实施例中,机器人控制系统110可以被配置为传送移动命令以使连杆254A至254E中的一个或多个旋转。移动命令可以是低级命令(诸如马达移动命令)或高级命令。如果来自机器人控制系统110的移动命令是高级命令,则机器人150可以被配置为将该高级命令转换为低级命令。

[0040] 在实施例中,从相机校准确定的相机校准信息描述相机270和机器人250之间的关系,或者更具体地说相机270和相对于机器人250的基座252静止的世界点294之间的关系。世界点294可以表示机器人250所在的世界或其他环境,并且可以是相对于基座252静止的任何假想点。换句话说,相机校准信息可以包括描述相机270和世界点294之间的关系的信息。在实施例中,该关系可以是指相机270相对于世界点294的位置、以及相机270相对于机

器人250的参考朝向的朝向。相机270和世界点294之间的以上关系可以被称为相机与世界的关系，并且可以用于表示相机270和机器人250之间的关系。在一些情况下，相机与世界的关系可以用于确定相机270和对象292之间的关系（也被称为相机与对象的关系）以及对象292和世界点294之间的关系（也被称为对象与世界的关系）。相机与对象的关系和对象与世界的关系可以用于控制机器人250拾取对象292。

[0041] 在实施例中，相机校准信息可以描述相机270的固有参数，其中，固有参数可以是其值独立于相机270的位置和朝向的任何参数。固有参数可以表征相机270的性质，诸如其焦距、其图像传感器的尺寸、或相机270引入的镜头失真的影响。

[0042] 示出示例机器人350的详细结构的示例在图3中描绘，图3描绘机器人操作系统300，机器人操作系统300包括与相机370和机器人350通信的机器人控制系统110。相机370分别可以是图1A、1B、1D或2的相机170/270的实施例，机器人350分别可以是图1A、1B或2的机器人150/250的实施例。相机370可以能够捕获相机370的视场内的图像（例如，校准图像），相机370的视场也可以被称为相机视场330。机器人350可以包括基座352和可相对于基座352移动的机器人臂。机器人臂包括一个或多个连杆，诸如连杆354A至连杆354E。在实施例中，连杆354A-354E可以彼此可旋转地附连。例如，连杆354A可以经由关节356A可旋转地附连到机器人基座352。其余的连杆354B至354E可以经由关节356B至356E彼此可旋转地附连。在实施例中，基座352可以用于将机器人350安装到例如安装框架或安装表面（例如，仓库的地板）。在实施例中，机器人350可以包括被配置为通过旋转连杆354A-354E来移动机器人臂的多个马达。例如，马达中的一个可以被配置为如图3中用虚线箭头所示使第一连杆354A相对于关节356A和基座302旋转。类似地，多个马达中的其他马达可以被配置为旋转连杆354B至354E。多个马达可以由机器人控制系统110控制。图3进一步描绘以固定的方式设置在第五连杆354E上的机器人手355。机器人手355上可以具有校准图案320，使得机器人控制系统110可以经由相机370捕获校准图案320的图像，并且基于校准图案320的捕获图像来执行相机校准。例如，机器人控制系统110可以移动机器人臂，以使得校准图案320可以在相机视场330内并且当捕获校准图案320的图像时对于相机370是可见的。机器人手355可以用另一个机器人手移除和更换。

[0043] 如上所述，本申请的一方面涉及在第一相机校准（例如，初始相机校准）之后继续捕获校准图案的图像（可以被称为校准图像）、并且基于更新近捕获的校准图像来执行附加的相机校准（例如，后续相机校准）。在一些情况下，更新近捕获的校准图像可以被添加到捕获图像集合，捕获图像集合可以充当映射到定义的数量的最新近捕获的校准图像的滑动窗口，以使得附加的相机校准可以基于定义的数量的最新近捕获的校准图像。

[0044] 图4A和4B提供描绘用于更新相机校准的方法400的示例步骤的流程图。在实施例中，方法400可以由图1A、1B或1C的机器人控制系统110的图1C的控制电路111执行。如上所述，机器人控制系统110可以包括图1C的控制电路111和通信接口113、以及图1A、1B或1D的相机170，通信接口113被配置为与图1A或1B的机器人150通信，相机170具有相机视场。机器人150可以具有基座（例如，图2的基座252或图3的基座352）和可相对于基座移动的机器人臂（例如，图2或图3的机器人臂），机器人臂可以具有设置在其上的校准图案（例如，图1A或1B的校准图案160或图3的校准图案320）。

[0045] 在实施例中，方法400可以从步骤401开始，在步骤401中，控制电路111执行第一相

机校准以确定用于相机(例如,170)的相机校准信息。控制电路111可以基于校准图案的图像(也被称为校准图像)来执行第一相机校准。在一方面,可以通过以下操作来执行第一相机校准:控制机器人臂将校准图案移动到相机视场内的第一组一个或多个位置;经由通信接口(例如,通信接口113)从相机(例如,相机170)接收第一组一个或多个校准图像,其中,相机(例如,170)被配置为在校准图案分别正在或曾在第一组一个或多个位置处时捕获第一组一个或多个校准图像;并且基于第一组一个或多个校准图像来执行第一相机校准。第一组一个或多个位置可以随机选择,或者可以是定义的(例如,手动定义,或由机器人控制系统动态地计算)。相机校准在2019年3月7日提交的、标题为“METHOD AND DEVICE FOR PERFORMING AUTOMATIC CAMERA CALIBRATION TO CONTROL A ROBOT BASED ON IMAGE FROM A CAMERA”的美国申请No.16/295,940(案号MJ0021US1)中有详细的讨论,该申请的全部内容通过引用并入本文。

[0046] 执行方法400的步骤401和其他步骤的示例环境在图5A和5B中描绘,图5A和5B描绘根据一方面的机器人操作系统500,其包括与相机570和机器人550通信的机器人控制系统110。相机570分别可以是图1、2或3的相机170/270/370的实施例,机器人550分别可以是图1、2、或3的机器人150/250/350的实施例。机器人550可以包括基座552和可相对于基座552移动的机器人臂。机器人臂包括一个或多个连杆,诸如连杆554A至554E。在实施例中,连杆554A-554E可以彼此可旋转地附连。例如,连杆554A可以可旋转地附连到机器人基座352。其余的连杆554B至554E可以经由多个关节彼此可旋转地附连。在实施例中,基座552可以用于将机器人550安装到例如安装框架或安装表面(例如,仓库的地板)。机器人550可以以类似于机器人350的方式进行操作。例如,机器人550可以包括被配置为通过旋转连杆554A-554E来移动机器人臂的多个马达。机器人手555可以以固定的方式设置在第五连杆554E上,并且可以具有设置在机器人手555上的校准图案520。图5A例示说明如下实施例,在该实施例中,因为机器人手555可以在各种方向上移动并且可以旋转远离相机570来执行机器人任务,所以校准图案520在机器人操作期间机器人550正在执行机器人任务(例如,拾取第一对象582A)时可能不经常面对相机570。如下面更详细地讨论的,这样的实施例可以一直等到空闲时段(例如,当不需要机器人550拾取对象时)来将校准图案520旋转为面对相机570以便捕获校准图案520的图像(也被称为校准图案520的校准图像)。例如,图5B例示说明如下情形,即,机器人550在机器人550不执行机器人任务的空闲时段期间可以将校准图案520移动为面对相机570以使得相机570可以捕获校准图案520的校准图像。在图5B中,机器人550可能已经完成了拾取对象582A和582B,而对象582C和机器人550的机器人手555之间的距离可能大于定义的阈值。

[0047] 如上所述,在一些情况下,控制电路111可以分别控制图1或6的相机170/670,以在不使用空闲时段的情况下捕获校准图像。这样的情形的示例在图6A和6B中描绘,图6A和6B提供可以执行方法400的步骤401和其他步骤的另一个示例环境。图6A和6B描绘机器人操作系统600(也被称为系统600),其包括与相机670和机器人650通信的机器人控制系统110。图6A是系统600的侧视图,图6B是系统600的顶视图。相机670分别可以是图1、2或3的相机170/270/370的实施例,机器人650分别可以是图1、2、或3的机器人150/250/350的实施例。机器人650可以包括基座652和可相对于基座652移动的机器人臂。机器人臂包括一个或多个连杆,诸如连杆654A至654E。在实施例中,连杆654A-654E可以彼此可旋转地附连。例如,连杆

654A可以可旋转地附连到机器人基座652。其余的连杆654B至654E可以经由多个关节彼此可旋转地附连。在实施例中,基座652可以用于将机器人650安装到例如安装框架或安装表面。机器人650可以以类似于机器人350的方式进行操作。

[0048] 在图6A和6B的实施例中,校准图案620设置在连杆654E的、即使在机器人650正在通过与对象682交互来执行机器人任务时也持续地面向上朝向相机670的一部分上。在一个示例中,对象可以是将被装载到托盘上或将从托盘上卸载下来的包裹(即,将被放在托盘上或从托盘卸下的包裹)。机器人650可以是被配置为堆叠或拆叠对象682的卸托盘机器人,因此如图6B所示,在通过与对象682交互来执行机器人任务时,可以使校准图案620面对相机670。因为即使当机器人650进行机器人操作而非空闲时,校准图案620也面对相机670,所以机器人控制系统110可以控制相机670以在不使用空闲时段的情况下经由相机670捕获校准图像。

[0049] 在实施例中,步骤401的第一相机校准可以使用例如图1、5A、5B、6A或6B的校准图案520/620来执行。在一些情况下,第一相机校准可以是在开始机器人操作之前执行的初始相机校准。可替代地,第一相机校准可以在机器人操作期间执行。机器人控制系统110可以(例如,经由移动命令)控制例如机器人550/650的机器人臂以将校准图案(例如,520/620)分别移动到图5A、5B、6A、6B的相机570/670的视场510/610(也被称为相机视场)内的各种位置,并且捕获校准图案520/620在这样的位置处的图像(也可以被称为校准图案520/620的校准图像)。随后,机器人控制系统110可以基于校准图案520/620的校准图像来执行第一相机校准以确定用于相机(例如,570/670)的相机校准信息。机器人控制系统110可以基于相机570/670和相机570/670的相机校准信息来控制机器人550/650移动。相机校准信息的准确度可以影响机器人550/650的移动的准确度。因此,机器人控制系统110可以控制相机570/670经由相机570/670随着时间捕获新的校准图像,其中,新的校准图像比用于执行第一相机校准的校准图像更为新近。新的校准图像可以用于执行附加的相机校准,附加的相机校准可以得到最新的相机校准信息。

[0050] 返回到图4A,方法400可以进一步包括步骤403,在步骤403中,控制电路111基于相机校准信息来控制机器人臂的移动以执行机器人操作,例如,通过经由通信接口(例如,113)将基于相机校准信息的第一移动命令输出到机器人(例如,550/650)来进行控制。例如,控制电路111可以将基于相机校准信息的第一移动命令输出到通信接口(例如,113),其中,通信接口(例如,113)被配置为将第一移动命令传送给机器人以使机器人臂移动以执行机器人操作(例如,拾取传送带上的对象)。

[0051] 在步骤405中,控制电路111(诸如通过经由通信接口将第二移动命令输出到机器人)控制机器人臂在第一相机校准之后将校准图案(例如,520/620)移动到相机视场(例如,510/610)内的一个或多个位置。例如,在第一相机校准之后,控制电路111可以将第二移动命令输出到通信接口113,其中,通信接口113被配置为将第二移动命令传送给机器人以使机器人臂将校准图案移动到相机视场(例如,510/610)内的一个或多个位置。该一个或多个位置可以是随机选择的,或者可以是定义的位置。控制电路111可以进一步控制机器人臂以确定校准图案(例如,520/620)在所述一个或多个位置中的每个位置处的朝向以使得校准图案对于相机(例如,570/670)是可见的。

[0052] 在步骤407,控制电路111经由通信接口(例如,113)从相机(例如,170/570/670)接

收一个或多个校准图像,其中,该一个或多个校准图像是当校准图案(例如,520/620)在一个或多个相应的位置处时分别由相机(例如,170/570/670)捕获的(这也可以被称为分别在该一个或多个位置处捕获的一个或多个校准图像)。例如,控制电路111可以从通信接口113接收该一个或多个校准图像,其中,通信接口113被配置为从相机170接收该一个或多个校准图像,其中,该一个或多个校准图像是当校准图案分别在相机视场内的该一个或多个位置处时分别捕获的。该一个或多个校准图像中的每个图像都可以在该一个或多个位置的相应位置处捕获。在一些情况下,控制电路111可以使用通信接口113来从相机170检索该一个或多个校准图像。在一些情况下,步骤407可以涉及控制电路111产生相机命令并且经由通信接口113将相机命令传送给相机170,其中,该相机命令使相机170捕获该一个或多个校准图像,和/或将捕获的一个或多个图像传回通信接口113。在其他情况下,相机可以周期性地或响应于触发条件,自动地捕获一个或多个校准图像,并且自动地将该一个或多个校准图像传送给通信接口113或通信接口113可访问的存储设备。

[0053] 例如,如图5B所示,机器人控制系统110的控制电路可以控制机器人550的机器人臂以将校准图案520移动到相机视场510内的一个或多个位置,以使得机器人控制系统110可以经由相机570捕获分别与位于该一个或多个位置处的校准图案520相对应的一个或多个相应的校准图像。在一些情况下,该一个或多个位置可以是多个位置。在这样的情况下,在校准图案520在第一位置处时校准图像已经被相机捕获之后,机器人控制系统110可以将校准图案520移动到第二位置,并且在校准图案520在第二位置处时捕获另一个校准图像。当校准图像正被捕获时,机器人控制系统110可以控制机器人550以移动校准图案520以使得校准图案520面对相机570。例如,机器人控制系统110可以控制机器人550以确定校准图案520的朝向以使得校准图案520对于相机570是可见的。

[0054] 返回到图4A,方法400可以进一步包括步骤409,在步骤409中,控制电路111将该一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合。在实施例中,捕获图像集合可以是存储在例如非暂时性计算机可读介质115或任何其他的存储设备上的图像的集合。

[0055] 在一些情况下,捕获图像集合可以具有固定尺寸,并且可以例如包括特定的最大数量的校准图像。例如,该固定尺寸可以是27,以使得捕获图像集合保持正好27个校准图像,诸如27个最新近捕获的校准图像。将理解的是,捕获图像集合的固定尺寸可以被设置为除27之外的固定值。相机校准可以使用捕获图像集合中的图像中的一些或全部来执行。在这样的情形下,捕获图像集合可以充当滑动窗口,该滑动窗口滑动以覆盖定义的数量的最新近捕获的图像。

[0056] 在一些情况下,捕获图像集合可以从零尺寸开始,并且可以随着校准图像被添加到集合而尺寸增大。例如,捕获图像集合可以在步骤401中执行第一相机校准之后被重置。可以通过从集合移除(例如,删除)所有的校准图像来重置捕获图像集合,以使得它在步骤409开始时尺寸为零。在这种情况下,捕获图像集合可以随着校准图像被添加到捕获图像集合而尺寸增大,并且可以具有定义的最大尺寸(例如,27个校准图像),该定义的最大尺寸限制捕获图像集合中的校准图像的总数量。在实施例中,定义的最大尺寸可以等于下面讨论的目标计数。例如,目标计数可以指示用于执行可靠的相机校准的校准图像的最小数量。目标计数可以是手动地或动态地定义的值,因此可以被称为定义的目标计数。在一些情况下,直到捕获图像集合已经达到定义的最大尺寸,捕获图像集合才被用于执行相机校准。一旦

捕获图像集合达到最大尺寸,则当一定数量的最新近的校准图像被添加时,控制电路111就可以丢弃集合中的相等数量的最旧的校准图像,以使得捕获图像集合充当捕获定义的数量的最新近捕获的图像的滑动窗口。在实施例中,每一次校准图像被添加到捕获图像集合时,控制电路111可以诸如在步骤409期间确定捕获图像集合中的校准图像的总数量是否等于定义的目标计数。

[0057] 方法400可以进一步包括步骤411,在步骤411中,控制电路111基于捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准,其中,第二相机校准输出更新后的相机校准信息。例如,在机器人控制系统110执行第一相机校准之后,机器人控制系统110可以控制相机(例如,570/670)以在一段时间段内继续捕获校准图像,并且可以将这些捕获的校准图像添加到捕获图像集合,该图像捕获集合可以包括一定数量的最新近捕获的校准图像。机器人控制系统110然后可以基于捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准。因为第二相机校准在第一相机校准之后,所以它可以被称为后续相机校准。

[0058] 在实施例中,只有当捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数(例如,27个校准图像)时才可以执行第二相机校准。例如,该定义的目标计数可以被定义为确保足够数量的校准图像可以用于初始相机校准之后的每次相机校准(或者更一般地说第一相机校准之后的每次相机校准)。例如,该定义的目标计数可以表示将用于每次相机校准以实现高准确度的最小数量的校准图像。

[0059] 在实施例中,控制电路111被配置为通过以下操作来更新捕获图像集合,即,将相机(例如,170/570/670)最新近捕获的一定数量的一个或多个校准图像添加到捕获图像集合,并且从捕获图像集合移除相机(例如,170/570/67)最早期捕获的相等数量的一个或多个校准图像。这可以例如在捕获图像集合中的校准图像的数量等于其(例如,根据目标计数确定的)最大尺寸或固定尺寸时发生,以使得最新的校准图像取代集合中的最旧的校准图像。在这样的实施例中,当执行第二相机校准时,捕获图像集合中的校准图像的总数量等于定义的目标计数。在实施例中,控制电路111可以存储识别哪些校准图像在捕获图像集合中的列表。例如,该列表可以包括捕获图像集合中的各个校准图像的图像标识符(例如,文件名)。当校准图像被添加到捕获图像集合时,控制电路111可以被配置为将该校准图像的图像标识符添加到该列表,这可以有效地将校准图像添加到捕获图像集合。在该示例中,控制电路111还可以从所述列表移除与捕获图像集合中的最旧的校准图像相对应的另一个图像标识符,这可以从捕获图像集合有效地移除最旧的校准图像。

[0060] 如上所述,控制电路111可以被配置为检测机器人操作期间的空闲时段、并且在空闲时段期间输出第二移动命令以使得机器人臂在空闲时段被控制为将校准图案(例如,160/520/620)移动到一个或多个位置并且在空闲时段期间在该一个或多个位置处捕获一个或多个相应的校准图像。例如,如图5A所示,因为第二对象582B和第三对象582C之间存在大的间隙,所以机器人控制系统110可以检测到与第二对象582B相关联的机器人任务和与第三对象582C相关联的机器人任务之间的空闲时段。在一个示例中,当在传送带573上上游没有对象是机器人550可触及时,和/或当机器人控制系统110确定机器人550和传送带573上上游的最近的对象(例如,第三对象582C)之间的距离超过某个阈值时,机器人控制系统110可以检测到空闲时段。如图5B所示,机器人控制系统110可以控制机器人550的机器人臂在空闲时段期间将校准图案520移动到一个位置,并且在空闲时段期间捕获该位置处的校

准图像(例如,第一校准图像)。如果在空闲时段中剩余更多的时间,则机器人控制系统110可以控制机器人550的机器人臂将校准图案520移动到另一个位置,并且控制相机570捕获另一个校准图像(例如,第二校准图像)。机器人臂可以被控制为确定校准图案520在这些位置中的每个位置处的朝向以使得校准图案520对于相机570是可见的。

[0061] 在实施例中,以上空闲时段可以是第一空闲时段,控制电路111可以被配置为确定捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到定义的目标计数。在这样的实施例中,控制电路111可以被配置为在第一空闲时段之后检测机器人操作期间的第二空闲时段,并且可以被进一步配置为确定第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时段。在实施例中,定义的校准时段可以指示完成第二相机校准所必需的时间量。如上所述,完成第二相机校准可以涉及执行计算以确定相机的固有参数和/或描述相机和机器人之间的关系的变换函数(例如,矩阵)。定义的校准时段可以指示执行这样的计算所必需的时间量。响应于确定第二空闲时段长于或等于定义的校准时段,控制电路111可以被配置为在第二空闲时段内完成第二相机校准。

[0062] 另一方面,响应于确定第二空闲时段短于定义的校准时段,控制电路111可以被配置为将第二相机校准的完成推后到后续(例如,第三)空闲时段。在一些情况下,在第二空闲时段期间没有捕获到更多的校准图像。在其他情况下,控制电路111在第二空闲时段内的剩余的时间量期间,可以经由通信接口113从相机(例如,170/570/670)接收(例如,检索)一个或多个附加的校准图像,其中,相机(例如,170/570/670)被配置为(例如,响应于相机命令)分别捕获相机视场(例如,510/610)内的一个或多个附加的位置处的一个或多个附加的校准图像,以便提供来自第二空闲时段的新近的校准图像以用于第二相机校准。控制电路111可以通过将该一个或多个附加的图像添加到捕获图像集合并且移除相机(例如,170/570/670)最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像来更新捕获图像集合,以便产生更新后的捕获图像集合。控制电路111可以一直等到长于或等于定义的校准时段的后续空闲时段来使用更新后的捕获图像集合完成第二相机校准。

[0063] 如上所述,当校准图像被捕获并且被添加到捕获图像集合时,捕获图像集合的尺寸可以增大。如果捕获图像集合的尺寸指示捕获图像集合中的捕获的校准图像的数量等于以上讨论的定义的目标计数,则足够数量的校准图像在捕获图像集合中可用于第二相机校准。在实施例中,完成第二相机校准可以涉及执行以上讨论的计算或用于第二相机校准的其他步骤,这些计算或其他步骤可能至少需要等于定义的校准时段的时间量。因此,在该实施例中,需要至少长达定义的校准时段的空闲时段来完成第二相机校准。因此,在确定图像捕获集合中的捕获的校准图像的数量已经达到定义的目标计数之后,如果后续(例如,第三)空闲时段长于或等于定义的校准时段,则机器人控制系统110可以在该后续空闲时段期间执行第二相机校准。

[0064] 另一方面,如果后续(例如,第三)时段短于定义的校准时段,则机器人控制系统110可以决定不在该后续空闲时段期间完成第二相机校准,但是可以改为在该后续(例如,第三)空闲时段期间捕获附加的校准图像。然后,通过以下操作来更新捕获图像集合,即,将附加的校准图像添加到捕获图像集合,并且从捕获图像集合移除相等数量的最旧的校准图像(即,最早捕获的校准图像),以使得更新后的捕获图像集合维持相同的尺寸,该尺寸等于定义的目标计数。当机器人控制系统110检测到具有长于或等于定义的校准时段的持续时

间的另一个(例如,第四)空闲时段时,机器人控制系统110可以在该(例如,第四)空闲时段期间完成第二相机校准。

[0065] 作为示例,假定定义的目标计数为10个,捕获图像集合的尺寸S可以限于10个校准图像或更少。在该示例中,10个校准图像I<sub>1</sub>–I<sub>10</sub>被相机捕获,其中,I<sub>1</sub>在时间上是最早捕获的,I<sub>10</sub>在时间上是最新近捕获的。这10个图像可以被添加到捕获图像集合S。如果两个附加的校准图像I<sub>11</sub>和I<sub>12</sub>被捕获,则这两个附加的校准图像I<sub>11</sub>和I<sub>12</sub>被添加到捕获图像集合S,并且在时间上最早捕获的两个校准图像I<sub>1</sub>和I<sub>2</sub>被从捕获图像集合S移除以产生更新后的捕获图像集合S,如下所示:

[0066] 捕获图像集合S=[I<sub>1</sub>, I<sub>2</sub>, I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>, I<sub>6</sub>, I<sub>7</sub>, I<sub>8</sub>, I<sub>9</sub>, I<sub>10</sub>]

[0067] 附加的校准图像=[I<sub>11</sub>, I<sub>12</sub>]

[0068] 更新后的捕获图像集合S=[I<sub>3</sub>, I<sub>4</sub>, I<sub>5</sub>, I<sub>6</sub>, I<sub>7</sub>, I<sub>8</sub>, I<sub>9</sub>, I<sub>10</sub>, I<sub>11</sub>, I<sub>12</sub>]

[0069] 在实施例中,以上讨论的空闲时段可以是第一空闲时段,控制电路111可以被配置为在第一空闲时段之后确定捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数。在这样的实施例中,控制电路111可以等待第二空闲时段,以使得更多的校准图像可以经由相机(例如,170/570/670)被捕获并且经由通信接口113被传送给控制电路111。更具体地说,控制电路111可以被配置为检测第一空闲时段之后的第二空闲时段、并且在第二空闲时段期间经由通信接口113从相机170/570/670接收一个或多个附加的校准图像,其中,相机170/570/670被配置为当校准图案分别被放置在相机视场510/610内的一个或多个附加的位置处时捕获一个或多个附加的校准图像。控制电路111可以被配置为将该一个或多个附加的校准图像添加到捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合。在该一个或多个附加的校准图像已经在第二空闲时段内被添加到捕获图像集合以产生更新后的捕获图像集合之后,控制电路111可以被进一步配置为确定更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到定义的目标计数。响应于确定更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数,控制电路111可以被配置为确定第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于指示完成第二相机校准所必需的时间量的定义的校准时段。响应于确定第二空闲时段内的剩余的时间长于或等于定义的校准时段,控制电路111可以执行第二相机校准。如果第二空闲时段内的剩余的时间短于定义的校准时段,则控制电路111可以将第二相机校准的完成推后到后续空闲时段,并且可以使用第二空闲时段内的剩余的时间来控制相机捕获附加的校准图像、或者更一般地说从相机170/570/670接收附加的校准图像。

[0070] 在实施例中,当机器人控制系统110的控制电路111确定捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数时,它可以继续控制相机(例如,170/570/670)捕获更多的校准图像(或者,更一般地说,从相机170/570/670接收更多的校准图像),并且在一个空闲时段或(一个或多个)后续空闲时段期间将它们添加到捕获图像集合,直到捕获图像集合中的校准图像的总数量达到定义的目标计数为止。

[0071] 在一种情况下,在图5A或5B中,当机器人控制系统110在第二空闲时段期间经由相机570捕获附加的校准图像并且将附加的校准图像添加到捕获图像集合以产生更新后的捕获图像集合时,更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量可能在第二空闲时段结束之前达到定义的目标计数。在这样的情形下,机器人控制系统110可以通过确定第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段来确定在第二空闲时段内是否剩余足够

的时间来执行第二相机校准。如果第二空闲时段内的剩余的时间长于或等于定义的校准时段，则机器人控制系统110可以在第二空闲时段内的剩余的时间期间执行第二相机校准。

[0072] 另一方面，响应于确定第二空闲时段内的剩余的时间短于定义的校准时段，控制电路111可以被进一步配置为在第二空闲时段内的剩余的时间期间经由通信接口113从相机570接收一个或多个后续的附加的校准图像，其中，相机570被配置为分别捕获在相机视场510内的一个或多个后续的附加的位置处的该一个或多个后续的附加的校准图像。控制电路111可以被进一步配置为通过以下操作来更新捕获图像集合，即，添加该一个或多个后续的附加的校准图像，并且移除捕获图像集合中的最早捕获的相等数量的校准图像。控制电路111可以被配置为一直等到后续的空闲时段来用更新后的捕获图像集合完成第二相机校准。例如，当附加的校准图像被捕获以使更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量在第二空闲时段结束之前达到定义的目标计数时，第二空闲时段内的剩余的时间可能短于定义的校准时段。然后，机器人控制系统110可以将第二相机校准的完成推后到后续(例如，第三)空闲时段，并且可以改为使用第二空闲时段的剩余的时间来捕获最新近的校准图像。捕获图像集合通过将最新近的校准图像添加到捕获图像集合并且移除相等数量的最旧的校准图像而被更新。当机器人控制系统110在第二空闲时段之后检测到长于或等于定义的校准时段的后续空闲时段时，机器人控制系统110可以在该后续空闲时段期间执行第二相机校准。

[0073] 在实施例中，控制电路111可以被配置为每次新的校准图像被添加到捕获图像集合时，确定捕获图像集合中的校准图像的总数量是否超过定义的目标计数。响应于确定捕获图像集合中的校准图像的总数量超过定义的目标计数，控制电路111可以被配置为从捕获图像集合移除最早捕获的校准图像以使捕获图像集合中的校准图像的总数量保持为定义的目标计数。

[0074] 返回到图4B，方法400可以进一步包括步骤451，在步骤451中，控制电路111确定(从第一相机校准产生的)相机校准信息和(从第二相机校准产生的)更新后的相机校准信息之间的偏差量。例如，偏差量可以指示相机570/670在第一相机校准和第二相机校准之间已经经历了多少偏差。在实施例中，相机校准信息和更新后的相机校准信息包括校准参数的相应的值。例如，偏差量可以是基于从第一相机校准获得的第一组校准参数值和从第二相机校准获得的第二组校准参数值之间的差值。作为示例，校准参数可以例如是失真参数、投影矩阵、和/或描述相机(例如，570/670)和机器人(例如，550/650)之间的关系的变换函数。在这样的示例中，相机校准信息可以指示校准参数的第一校准参数值或第一组校准参数值，更新后的相机校准信息可以指示校准参数的第二校准参数值或第二组校准参数值。相机校准信息和更新后的相机校准信息之间的偏差量可以基于第一校准参数值和第二校准参数值之间的差值，或者基于第一组校准参数值和第二组校准参数值之间的相应的差值。在另一个示例中，相机校准信息和更新后的相机校准信息可以基于校准图案520/620的图案元素的相应的坐标。在这样的示例中，偏差量可以是基于在为第一相机校准获得的校准图像中图案元素所出现的一组坐标和在通过第二相机校准获得的校准图像中图案元素所出现的一组坐标之间的整体差值。

[0075] 返回到图4B，方法400可以进一步包括步骤453，在步骤453中，控制电路111确定偏差量是否超过定义的阈值(也可以被称为定义的偏差阈值)。例如，控制电路111可以将偏差

量与定义的偏差阈值进行比较来确定偏差是否超过定义的阈值。在实施例中,定义的偏差阈值可以指示以上讨论的更新后的相机校准信息相对于以上讨论的相机校准信息(例如,基线相机校准信息)何时变化得太多。例如,基线相机校准信息和更新后的校准信息之间的大的变化可以反映相机(例如,170/570/670)的外部环境中的不期望的状况,诸如其中温度是无调节的并且温度变化正在引起相机校准信息的显著变化的外部环境,或者诸如其中相机(例如,170/570/670)没有被牢固地安装到安装结构并且由外力引起的相机的移动正在引起相机校准信息的显著变化的状况。在实施例中,定义的偏差阈值可以指示更新后的相机校准信息何时从相机校准信息(例如,基线相机校准信息)变化地太快。例如,如果用户撞上相机(例如,170/570/670)或机器人(例如,150/550/650),并且使相机或机器人突然移位,则该突然的移位可以在相机校准信息的突然的显著变化中反映出来。在这样的实施例中,定义的偏差阈值可以具有是定义的变化速率的值。

[0076] 方法400可以进一步包括步骤455,在步骤455中,响应于确定偏差量超过定义的阈值,控制电路111输出指示偏差量超过定义的阈值的通知信号。在实施例中,通知可以被输出到用户接口设备,诸如用户接口设备180。在实施例中,可以基于包围相机的环境中的温度来调整定义的阈值。例如,当温度在定义的正常的操作温度范围内(例如,在室温的10度内)时,定义的阈值可以被定义为第一值。当温度在正常的操作温度范围外时,定义的阈值可以被定义为低于第一值的第二值。

[0077] 在实施例中,偏差量超过定义的阈值可以指示如果机器人操作继续进行,可能导致不期望的误差,因为与相机570/670相关联的性质可能偏离初始状态太多。因此,控制电路111输出指示偏差量超过定义的阈值的通知信号,以使得机器人550/650的操作者可以在机器人操作继续进行之前解决偏差。另一方面,如果偏差量没有超过定义的阈值,则控制电路111可以继续进行机器人操作,而不输出通知信号。此外,如果偏差量超过定义的阈值,则控制电路111可以重置捕获图像集合(例如,通过从捕获图像集合移除所有的图像),并且开始捕获将用于另一(例如,第三)相机校准的新的校准图像。

[0078] 在实施例中,机器人臂将校准图案(例如,520/620)移动到以捕获校准图像的一个或多个位置可以包括多个位置,其中,该多个位置中的每个位置是设置在相对于相机(例如,570/670)呈凹形的假想球体的表面上的位置。在这样的实施例中,控制电路111可以被进一步配置为控制机器人臂以将校准图案(例如,520/620)移动到在该多个位置中的每个位置处与假想球体的表面相切。例如,如图7A和7B所示,机器人控制系统110可以控制机器人550的机器人臂以将校准图案520移动到位置710A-710I,并且在位置710A-710I中的每个位置处捕获相应的校准图像。位置710A-710I可以在相机570的视场510内、在多个假想球体之间划分。例如,位置710A和710B可以设置在第一假想球体720的第一球形表面721上,其中,包括位置710A和710B的第一球形表面721(部分地或完全地)在相机570的视场510内。作为另一个示例,位置710C、710D和710E可以设置在第二假想球体730的第二球形表面731上,其中,包括位置710C、710D和710E的第二球形表面731在视场510内。在进一步的示例中,位置710F、710G、710H和710I可以设置在第三假想球体740的第三球形表面741上,其中,包括位置710F、710G、710H和710I的第三球形表面741在视场510内。如图7A和7B所示,第一球形表面721、第二球形表面731和第三球形表面741分别地相对于相机570呈凹形。尽管图7A和7B中的示例示出基于三个球体的三个球形表面,但是其上可以设置位置的一定数量的不同

的球形表面可以大于三个或小于三个。在实施例中,相机570可以是假想球体720、730和740中的每个假想球体的中心。

[0079] 在实施例中,如图7A和7B所示,当校准图案520被移动到位置时,机器人控制系统110可以控制机器人550的机器人臂以将校准图案520定位为与其上设置该位置的球形表面相切。例如,图7B例示校准图案520在位置710D处与第二球形表面731相切。更具体地说,校准图案520可以设置在平坦平面上(例如,贴纸上),并且校准图案520的该平坦平面可以在位置710D处与第二球形表面731相切。

[0080] 在实施例中,控制电路111被配置为控制机器人臂以将校准图案(例如,520)移动成当校准图案(例如,520)被移动到位置时直接面对相机。例如,如图7A所示,当校准图案520被移动到位置710D时,机器人控制系统110可以控制机器人500的机器人臂以将校准图案520移动到直接面对相机570。在该示例中,机器人控制系统110可以控制机器人手555旋转以使得校准图案520直接面对相机570。在一些情况下,校准图案520可以通过在相机的视场510处与球形表面(例如,第一球形表面721、第二球形表面731、第三球形表面741)相切而直接面对相机570。当校准图案520直接面对相机570时,相机570可以能够正面拍摄校准图案520,以使得在校准图案520的所得图像中没有透视效果或透视效果减小。

[0081] 图8描绘其中执行相机校准更新处理的示例时间线800。在实施例中,时间线800可以涉及图5A和5B的系统500执行的操作。时间线800可以从校准时段811开始,校准时段811可以在机器人操作开始之前发生。例如,图1A、1B或1C的机器人控制系统110可以执行第一相机校准以确定用于相机570的相机校准信息。在第一相机校准完成之后,机器人操作从机器人任务时段813开始。

[0082] 在机器人任务时段813期间,机器人控制系统110可以控制机器人550(来自图5A和5B)执行一个或多个机器人任务。如以上关于图5A和5B所讨论的,系统500在机器人任务时段813期间可能不能捕获任何校准图像,并且可能必须一直等到检测到空闲时段才这样做。

[0083] 如图8中所描绘的,机器人控制系统110可以在任务时段813之后检测空闲时段815,在空闲时段815期间,机器人550不执行机器人任务。在空闲时段815期间,机器人控制系统110经由相机570分别捕获图5A和5B的校准符号520在一个或多个位置处(例如,在第一组六个位置处)的一个或多个校准图像,并且将这些校准图像添加到捕获图像集合。在图8的示例中,校准图像I<sub>1</sub>-I<sub>6</sub>是在空闲时段815期间捕获的,并且被添加到捕获图像集合S。

[0084] 在空闲时段815结束之后,在任务时段817期间,机器人控制系统110重新开始控制机器人550执行一个或多个机器人任务。在任务时段817期间,系统500可能不能捕获任何校准图像。在空闲时段817之后,机器人控制系统110在该示例中检测空闲时段819,在空闲时段819期间,机器人550不执行机器人任务。在空闲时段819期间,机器人控制系统110分别捕获校准图案520在第二组四个其他的位置处的校准图像I<sub>7</sub>-I<sub>10</sub>。捕获的图像I<sub>7</sub>-I<sub>10</sub>被添加到捕获图像集合S。结果,捕获图像集合S在第二空闲时段819之后包括I<sub>1</sub>-I<sub>10</sub>。在实施例中,定义的目标计数可以等于10。因为捕获图像集合S现在具有十个校准图像,所以机器人控制系统110可能准备好执行第二相机校准。然而,因为第二空闲时段819可能已经过去或者几近过去,所以该第二相机校准可能被推后到后续空闲时段(例如,827)。

[0085] 在空闲时段819之后,机器人控制系统110在机器人任务时段821期间重新开始控制机器人550执行一个或多个机器人任务。在该机器人任务时段之后,机器人控制系统110

可以检测空闲时段823，在空闲时段823期间，机器人550不执行机器人任务。机器人控制系统110进一步确定空闲时段823短于定义的校准时段，因此确定在空闲时段823期间不执行用于完成第二相机校准的计算或其他步骤。相反，机器人控制系统110可能等待后续的空闲时段（例如，空闲时段827）来完成第二相机校准。在一些情况下，机器人控制系统110可以允许空闲时段823过去而不捕获任何更多的校准图像。可替代地，如图8中所描绘的，机器人控制系统110在空闲时段823期间可以捕获附加的校准图像I<sub>11</sub>–I<sub>12</sub>，并且将它们添加到捕获图像集合S。因为捕获图像集合S中的校准图像的总数量已经达到10个校准图像的定义的目标计数，所以机器人控制系统110可以从捕获图像集合S移除捕获图像集合S中的相等数量的最旧的校准图像。更具体地说，在该实施例中，机器人控制系统110可以从捕获图像集合S移除校准图像的两个最旧的实例I<sub>1</sub>–I<sub>2</sub>，因为校准图像的两个新捕获的实例I<sub>11</sub>–I<sub>12</sub>被添加到捕获图像集合S。结果，捕获图像集合S现在包括校准图像I<sub>3</sub>–I<sub>12</sub>。

[0086] 如图8所示，空闲时段823之后接着可以是机器人任务时段825，然后是另一个空闲时段827。机器人控制系统110可以确定该空闲时段827具有长于或等于定义的校准时段的持续时间，因此确定在空闲时段827期间执行完成第二相机校准所必需的计算或其他步骤。在空闲时段827期间，机器人控制系统110执行第二相机校准以基于捕获图像集合中的校准图像来确定更新后的相机校准信息。在该示例中，第二相机校准是基于捕获图像集合中包括的校准图像I<sub>3</sub>–I<sub>12</sub>执行的。在第二相机校准完成之后，机器人控制系统110确定来自第一相机校准的相机校准信息和来自第二相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量。在该示例中，因为偏差量没有超过定义的阈值，所以机器人控制系统110可以通过在任务时段829期间执行机器人任务来继续进行机器人操作。

[0087] 图9描绘示出反映以上针对图4A、4B、5A、5B和8所讨论的特征的相机校准更新处理的示例流程图900。流程图900的步骤可以由例如图5A和5B的系统500执行。在步骤901，图1A、1B或1C的机器人控制系统110执行图5A和5B的相机570的第一相机校准以确定相机570的相机校准信息。在第一相机校准之后，机器人控制系统110可以在第一相机校准之后开始机器人操作。

[0088] 在步骤903，如以上所讨论的，机器人控制系统110检测机器人操作期间的空闲时段。在步骤905，在空闲时段期间，机器人控制系统110控制图5A和5B的机器人550将图5A和5B的校准图案520移动到相机570的图5A和5B的相机视场510内的一个或多个位置，并且经由相机570捕获在该一个或多个位置处的一个或多个相应的校准图像。捕获的校准图像可以被添加到捕获图像集合。在实施例中，捕获图像集合在步骤905开始时可能具有捕获的校准图像的零个实例，因此在步骤905开始时可能具有零尺寸。

[0089] 在步骤907，机器人控制系统110确定捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量是否已经达到定义的目标计数。如果捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数，则在步骤909，机器人控制系统110确定空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段。定义的校准时段可以指示完成附加的相机校准（例如，第二相机校准）所必需的时间量。如果空闲时段内的剩余的时间长于或等于定义的校准时段，则在步骤919，机器人控制系统110执行附加的相机校准。

[0090] 返回到步骤909，如果空闲时段内的剩余的时间短于定义的校准时段，则机器人控制系统110在该时段内不完成附加的相机校准。相反，在步骤911，在空闲时段内的剩余的时

间期间,机器人控制系统110经由相机570捕获新的校准图像,并且通过以下操作来更新捕获图像集合,即,将这些新的校准图像添加到捕获图像集合并且移除相机570最早捕获的相等数量的校准图像以使捕获图像集合中的校准图像的总数量保持在定义的目标计数。在911之后,机器人控制系统110可以在空闲时段结束之后重新开始执行机器人任务。

[0091] 在步骤913,机器人控制系统110尝试检测机器人操作期间的附加的空闲时段。当附加的空闲时段被检测到时,机器人控制系统110可以在步骤915确定该附加的空闲时段是否长于或等于定义的校准时段。如果附加的空闲时段短于定义的校准时段,则机器人控制系统110在步骤917处经由相机570捕获新的校准图像,并且通过以下操作来更新捕获图像集合,即,将这些新的校准图像添加到捕获图像集合并且移除相机570最早捕获的相等数量的校准图像以使捕获图像集合中的校准图像的总数量保持在定义的目标计数。机器人控制系统110可以返回到步骤913,并且等待具有长于或等于校准时段的持续时间的后续空闲时段。

[0092] 返回到步骤907,如果机器人控制系统110确定捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量尚未达到目标计数,则在步骤921,机器人控制系统110尝试检测机器人操作期间的附加的空闲时段。当附加的空闲时段被检测到时,机器人控制系统110捕获相机570的相机视场510内的一个或多个位置处的一个或多个校准图像,并且可以将捕获的校准图像添加到捕获图像集合。

[0093] 在步骤925,机器人控制系统110可以再次确定捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量是否已经达到定义的目标计数。如果机器人控制系统110在步骤925确定捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量尚未达到目标计数,则机器人控制系统110可以返回到步骤921以等待后续空闲时段,以便捕获更多的校准图像。如果机器人控制系统110在步骤925确定捕获图像集合内的捕获的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数,则该处理可以继续进行到步骤915,并且机器人控制系统110确定该附加的空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段。

[0094] 在步骤915,如果机器人控制系统110确定当前空闲时段内的剩余的时间长于或等于定义的校准时段,则该处理可以继续进行步骤919。在步骤919,机器人控制系统110执行附加的相机校准(例如,第二相机校准)。

[0095] 在机器人控制系统110在步骤919执行附加的校准之后,机器人控制系统110在步骤927可以确定第一相机校准的相机校准信息和附加校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量,并且确定该偏差量是否超过定义的阈值。如果偏差量超过定义的阈值,则机器人控制系统110在步骤929输出通知(例如,输出到用户接口设备180)。在一些情况下,机器人控制系统110可以响应于这样的确定而停止或暂停机器人操作。另一方面,如果偏差量没有超过定义的阈值,则机器人控制系统110可以在步骤932重置捕获的图像,并且返回到步骤903以检测空闲时段以捕获新的校准图像集合。

[0096] 如以上关于图6A和6B所述,本公开的一些实施例可以使得校准图像可以在不使用空闲时段的情况下被捕获,或者不管是否存在空闲时段都被捕获。图10描绘用于这样的实施例的示例时间线1000。时间线1000可以反映图6A和6B的系统600的示例情形。时间线1000可以从校准时段1011开始,校准时段1011可以在机器人操作开始之前发生。在校准时段1011,图1A、1B或1C的机器人控制系统110可以执行第一相机校准以确定用于图6A的相机

670的相机校准信息。

[0097] 在第一相机校准完成之后,机器人操作从任务时段1013开始。在机器人操作期间,机器人控制系统110控制图6A和6B的机器人650在任务时段1013、1017、1021和1025期间执行机器人任务,而机器人650在空闲时段1015、1019、1023期间不执行机器人任务。

[0098] 在示例时间线1000中,机器人控制系统110不需要等待空闲时段来在空闲时段期间捕获校准图像。如以上所讨论的,因为图6A和6B的校准图案620被放置在机器人650上以使得即使在机器人650正在执行机器人任务时校准图案620也经常面对相机670,所以机器人控制系统110可以在机器人操作期间的任何时间捕获校准图像。因此,在时段1031期间,机器人控制系统110捕获校准图像,并且将捕获的校准图像添加到捕获图像集合。时段1031可以仅包括(一个或多个)机器人任务时段,仅包括(一个或多个)空闲时段,或者包括它们的任何组合。如果在时段1031期间,捕获图像集合中的捕获的校准图像的数量达到定义的目标计数,则机器人控制系统110基于捕获的校准图像来执行第二相机校准以确定更新后的相机校准信息。此外,机器人控制系统110可以确定来自第一相机校准的相机校准信息和来自第二相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量。在该示例中,因为偏差量没有超过定义的阈值,所以机器人控制系统110通过移除捕获图像集合中的所有的校准图像来重置捕获图像集合,并且继续进行到时段1033。在另一个实施例中,机器人控制系统110在时段1031内不执行重置,使得捕获图像集合可以充当使用定义的数量的最新近捕获的校准图像来执行后续(例如,第三)相机校准的滑动窗口。

[0099] 在时段1033期间,机器人控制系统110捕获另一组校准图像,并且将捕获的校准图像添加到捕获图像集合。就像时段1031那样,时段1033可以仅包括(一个或多个)机器人任务时段,仅包括(一个或多个)空闲时段,或者包括它们的任何组合。当捕获图像集合中的捕获的校准图像的数量达到定义的目标计数时,机器人控制系统110基于来自时段1033的捕获的校准图像来执行另一个(例如,第三)相机校准以确定更新后的相机校准信息。机器人控制系统110可以确定来自第一相机校准的相机校准信息和来自时段1033的第三相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量。在该示例中,因为偏差量没有超过定义的阈值,所以机器人控制系统110通过移除捕获图像集合中的校准图像来重置图像集合,并且继续进行到时段1035。

[0100] 在时段1035期间,机器人控制系统110捕获另一组校准图像,并且将捕获的校准图像添加到捕获图像集合。当捕获图像集合中的捕获的校准图像的数量达到定义的目标计数时,机器人控制系统110基于捕获的校准图像来执行又一个(例如,第四)相机校准以确定更新后的相机校准信息。机器人控制系统110可以确定来自第一相机校准的相机校准信息和来自第四相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量。在该示例中,因为偏差量超过定义的阈值,所以机器人控制系统110输出阈值被超过的通知信号。

[0101] 图11描绘示出与以上对于图6A、6B和10所讨论的处理相关的相机校准的相机校准更新处理的示例流程图1100。在步骤1101,图1A、1B或1C的机器人控制系统110执行第一相机校准。在步骤1103,机器人控制系统110控制图6A和6B的机器人650以移动图6A和6B的校准图案620,并且经由图6A的相机670捕获在相机670的图6A和6B的相机视场610内的各个位置处的校准图像。在步骤1105,机器人控制系统110确定捕获的校准图像的数量是否已经达到定义的目标计数。如果捕获的校准图像的数量尚未达到定义的目标计数,则该处理返回

到步骤1103，并且机器人控制系统110继续捕获在各个位置处的更多的校准图像。

[0102] 继续进行步骤1105，如果捕获的校准图像的数量已经达到目标计数，则该处理继续进行到步骤1107，并且机器人控制系统110执行附加的相机校准(例如，第二相机校准)以确定更新后的相机校准信息。在机器人控制系统110在步骤1107执行附加的校准之后，机器人控制系统110在步骤1109确定第一相机校准的相机校准信息和附加的相机校准的更新后的相机校准信息之间的偏差量，并且确定偏差量是否超过定义的阈值。如果偏差量超过定义的阈值，则机器人控制系统110在步骤1111输出通知信号。在一些情况下，机器人控制系统110可以响应于这样的确定而停止或暂停机器人操作。另一方面，如果偏差量没有超过定义的阈值，则机器人控制系统110可以在步骤1113重置捕获的校准图像，并且返回到步骤1103以检测空闲时段以捕获新的一组校准图像。在实施例中，可以省略重置步骤1113。

#### [0103] 各种实施例的附加讨论

[0104] 实施例1涉及包括通信接口的机器人控制系统，该通信接口被配置为与具有基座和其上设置有校准图案的机器人臂的机器人进行通信，并且与具有相机视场的相机进行通信。该机器人控制系统进一步包括控制电路，该控制电路被配置为：a)执行第一相机校准以确定与相机相关联的相机校准信息；b)通过经由通信接口将基于相机校准信息的第一移动命令输出到机器人来基于相机校准信息控制机器人臂的移动以执行机器人操作；c)在第一相机校准之后通过经由通信接口将第二移动命令输出到机器人来控制机器人臂以将校准图案移动到相机视场内的一个或多个位置；d)经由通信接口从相机接收一个或多个校准图像，其中，该一个或多个校准图像是分别在该一个或多个位置处被捕获的；e)将该一个或多个校准图像添加到包括校准图像的捕获图像集合；f)基于捕获图像集合中的校准图像来执行第二相机校准，其中，第二相机校准输出更新后的相机校准信息；g)确定相机校准信息和更新后的相机校准信息之间的偏差；h)确定偏差是否超过定义的阈值；i)响应于确定偏差超过定义的阈值，输出指示偏差超过定义的阈值的通知信号。

[0105] 实施例2包括实施例1的机器人控制系统，其中，只有当捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数时，才执行第二相机校准。

[0106] 实施例3包括实施例1或2的机器人控制系统，其中，控制电路被进一步配置为通过以下操作来更新捕获图像集合，即，将最新近捕获的一定数量的一个或多个校准图像添加到捕获图像集合，并且从捕获图像集合移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像，其中，当执行第二相机校准时，捕获图像集合中的校准图像的总数量等于定义的目标计数。

[0107] 实施例4包括实施例1-3中的任何一个的机器人控制系统，其中，控制电路被进一步配置为：检测机器人操作期间的空闲时段，并且在空闲时段期间输出第二移动命令以使得机器人臂被控制为在空闲时段期间将校准图案移动到一个或多个位置，并且其中，该一个或多个相应的校准图像是在空闲时段期间在该一个或多个位置处被捕获的。

[0108] 实施例5包括实施例4的机器人控制系统，其中，空闲时段是第一空闲时段，其中，控制电路被进一步配置为：a)确定捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数；b)在第一空闲时段之后，检测机器人操作期间的第二空闲时段；c)确定第二空闲时段是否长于或等于定义的校准时段，该定义的校准时段指示完成第二相机校准所必需的时间量；d)响应于确定第二空闲时段长于或等于定义的校准时段，在第二空闲时段期间执行第二相机校准；e)响应于确定第二空闲时段短于定义的校准时段：a)在第二空闲时段期间，

经由通信接口从相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,该一个或多个附加的校准图像是分别在相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的;b)通过添加该一个或多个附加的图像并且移除最早捕获的相等数量的一个或多个校准图像,来更新捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合;c)一直等到长于或等于定义的校准时段的后续空闲时段来使用更新后的捕获图像集合完成第二相机校准。

[0109] 实施例6包括实施例4的机器人控制系统,其中,空闲时段是第一空闲时段,其中,控制电路被进一步配置为:a)在空闲时段之后,确定捕获图像集合中的校准图像的总数量尚未达到定义的目标计数;b)检测第一空闲时段之后的第二空闲时段;c)在第二空闲时段期间,经由通信接口从相机接收一个或多个附加的校准图像,其中,该一个或多个附加的校准图像是分别在相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的;d)将该一个或多个附加的校准图像添加到捕获图像集合以便产生更新后的捕获图像集合;e)确定更新后的捕获图像集合中的校准图像的总数量是否已经达到定义的目标计数;f)响应于确定捕获图像集合中的校准图像的总数量已经达到定义的目标计数:确定第二空闲时段内的剩余的时间是否长于或等于定义的校准时段,该定义的校准时段指示完成第二相机校准所必需的时间量;g)响应于确定第二空闲时段内的剩余的时间长于或等于定义的校准时段,在第二空闲时段内的剩余的时间期间执行第二相机校准。

[0110] 实施例7包括实施例6的机器人控制系统,其中,控制电路被进一步配置为响应于确定第二空闲时段内的剩余的时间短于定义的校准时段:a)在第二空闲时段内的剩余的时间期间,经由通信接口从相机接收一个或多个后续的附加的校准图像,其中,该一个或多个后续的附加的校准图像是分别在相机视场内的一个或多个后续的附加的位置处被捕获的;b)通过以下操作来更新捕获图像集合,即,添加该一个或多个后续的附加的校准图像并且移除捕获图像集合中的最早捕获的相等数量的校准图像;c)一直等到长于或等于定义的校准时段的后续空闲时段来使用更新后的捕获图像集合完成第二相机校准。

[0111] 实施例8包括实施例1-7中的任何一个的机器人控制系统,其中,控制电路被进一步配置为:a)经由通信接口从相机接收一个或多个附加的校准图像,并且将该一个或多个附加的校准图像添加到捕获图像集合,其中,该一个或多个附加的校准图像是分别在相机视场内的一个或多个附加的位置处被捕获的;b)在该一个或多个附加的校准图像中的每个图像已经被添加到捕获图像集合之后,确定捕获图像集合中的校准图像的总数量是否超过定义的目标计数;c)响应于确定捕获图像集合中的校准图像的总数量超过定义的目标计数,从捕获图像集合移除最早捕获的校准图像,其中,第二相机校准是在该一个或多个附加的图像已经被添加到捕获图像集合之后利用捕获图像集合的所有校准图像执行的。

[0112] 实施例9包括实施例1-8中的任何一个的机器人控制系统,其中,相机校准信息和更新后的相机校准信息包括校准参数的相应的值。

[0113] 虽然以上已经描述了各种实施例,但是应理解,它们仅仅是作为本发明的例示说明和示例而非限制而提出的。对于相关领域的技术人员来说将清楚的是,在不脱离本发明的精神和范围的情况下,可以做出形式和细节上的各种改变。因此,本发明的广度和范围不应受上述示例性实施例中的任何一个的限制,而是应仅根据所附权利要求和它们的等同形式来限定。还将理解的是,本文中所讨论的每个实施例和本文中记载的每个引用的每个特征可以与任何其他实施例的特征组合使用。本文中所讨论的所有的专利和出版物都通过引

用整体并入本文。

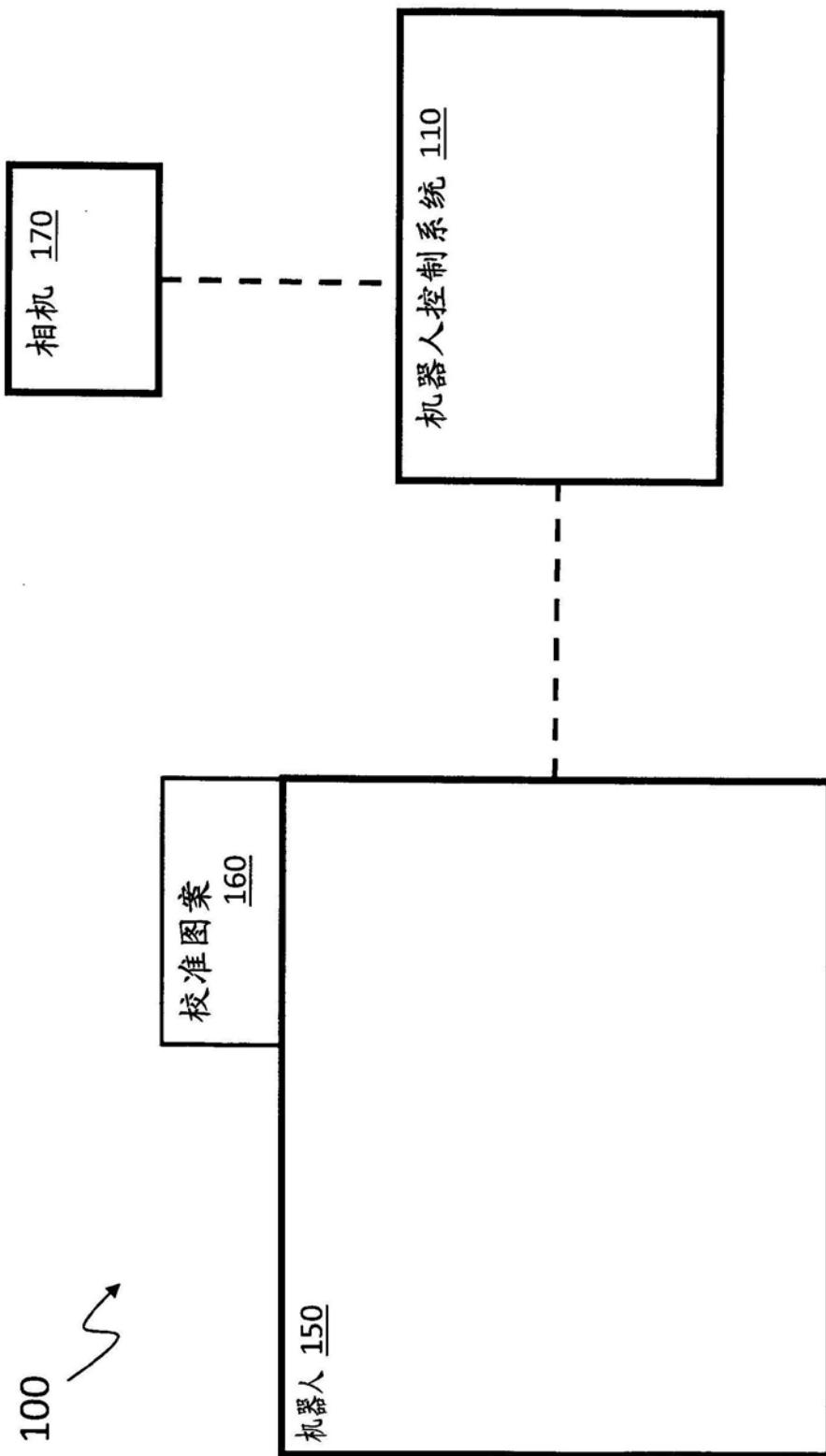


图1A

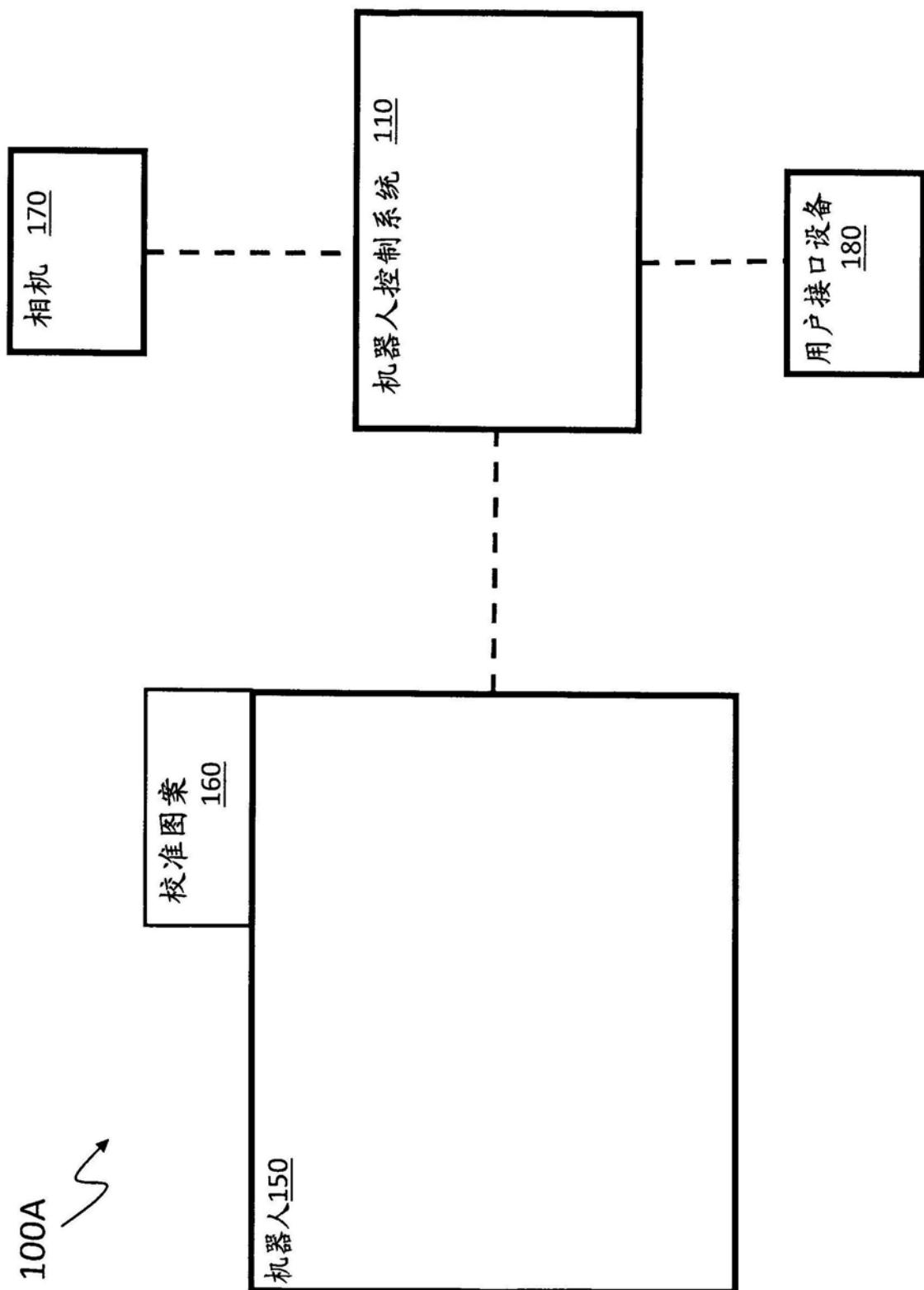


图1B

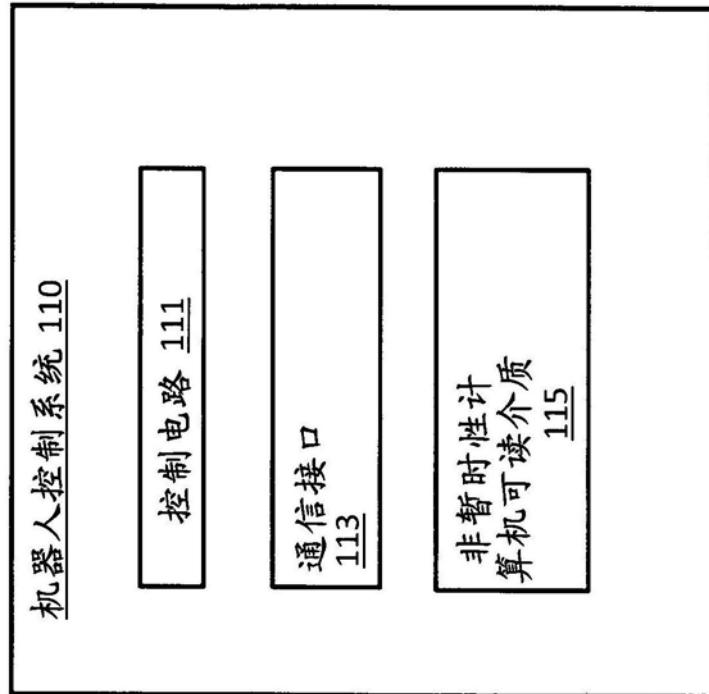


图1C

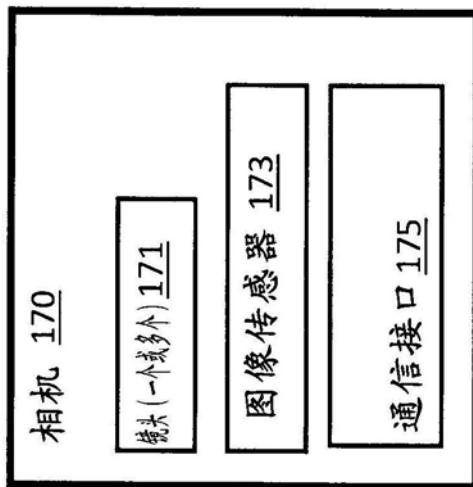


图1D

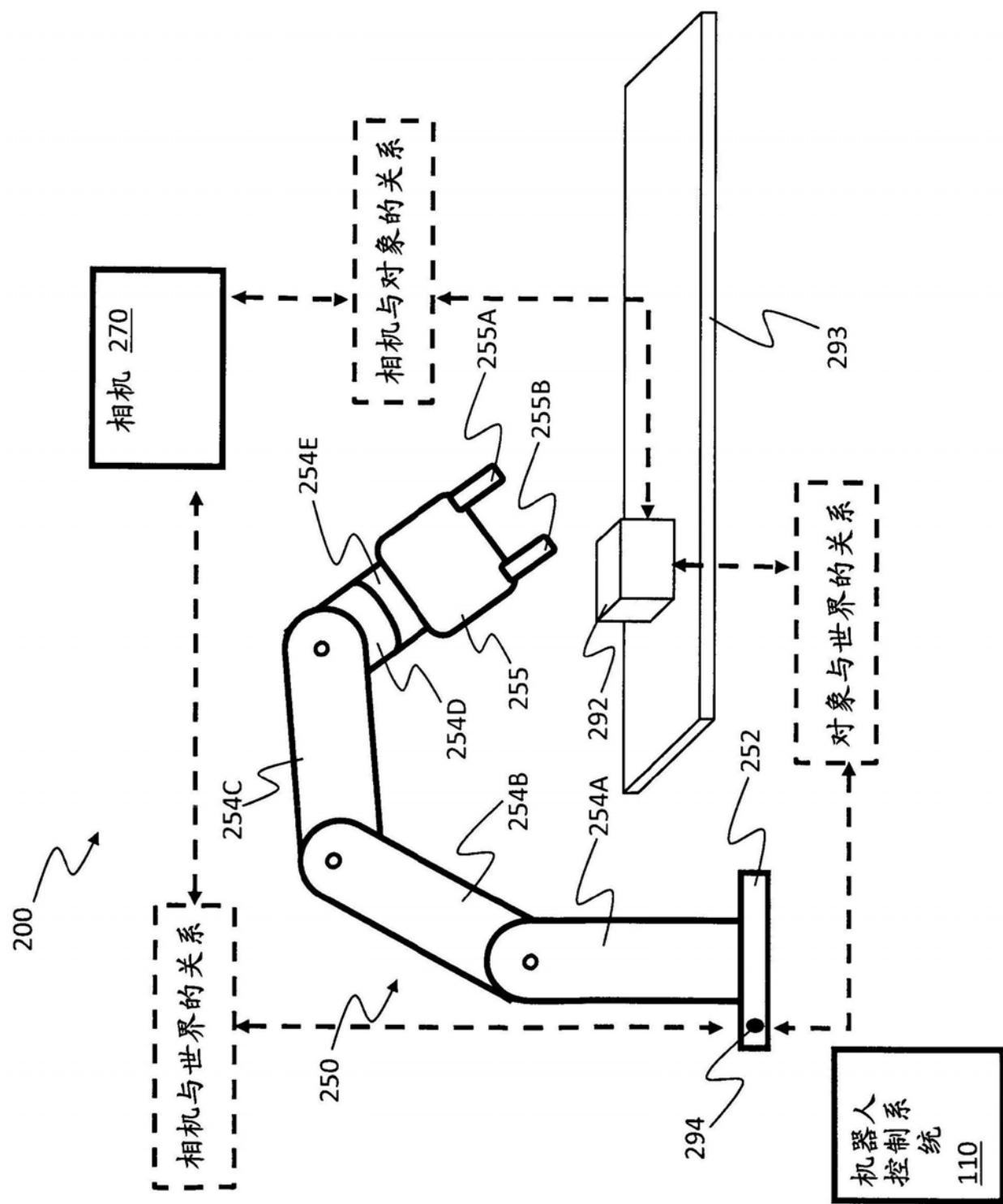


图2

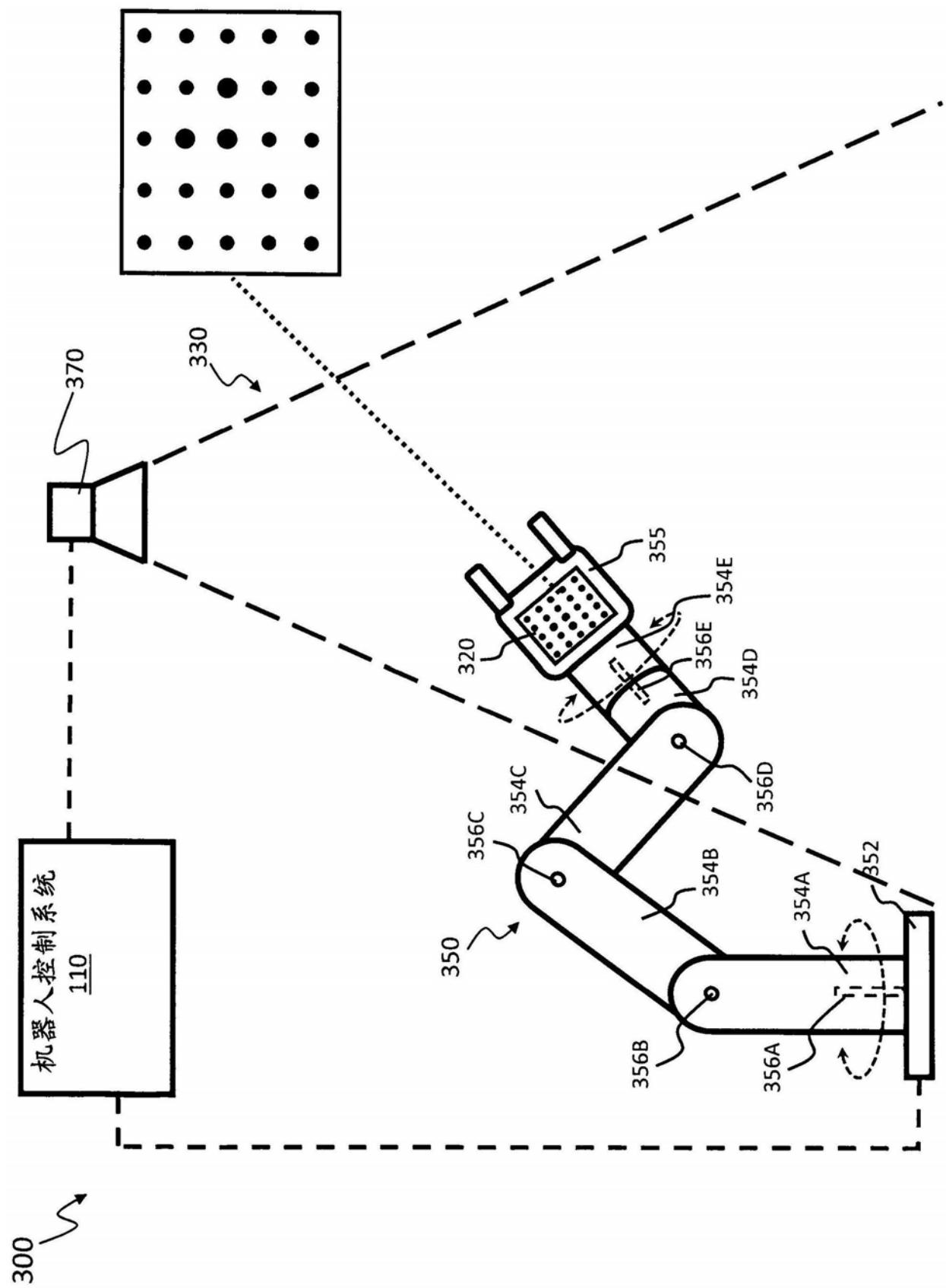


图3

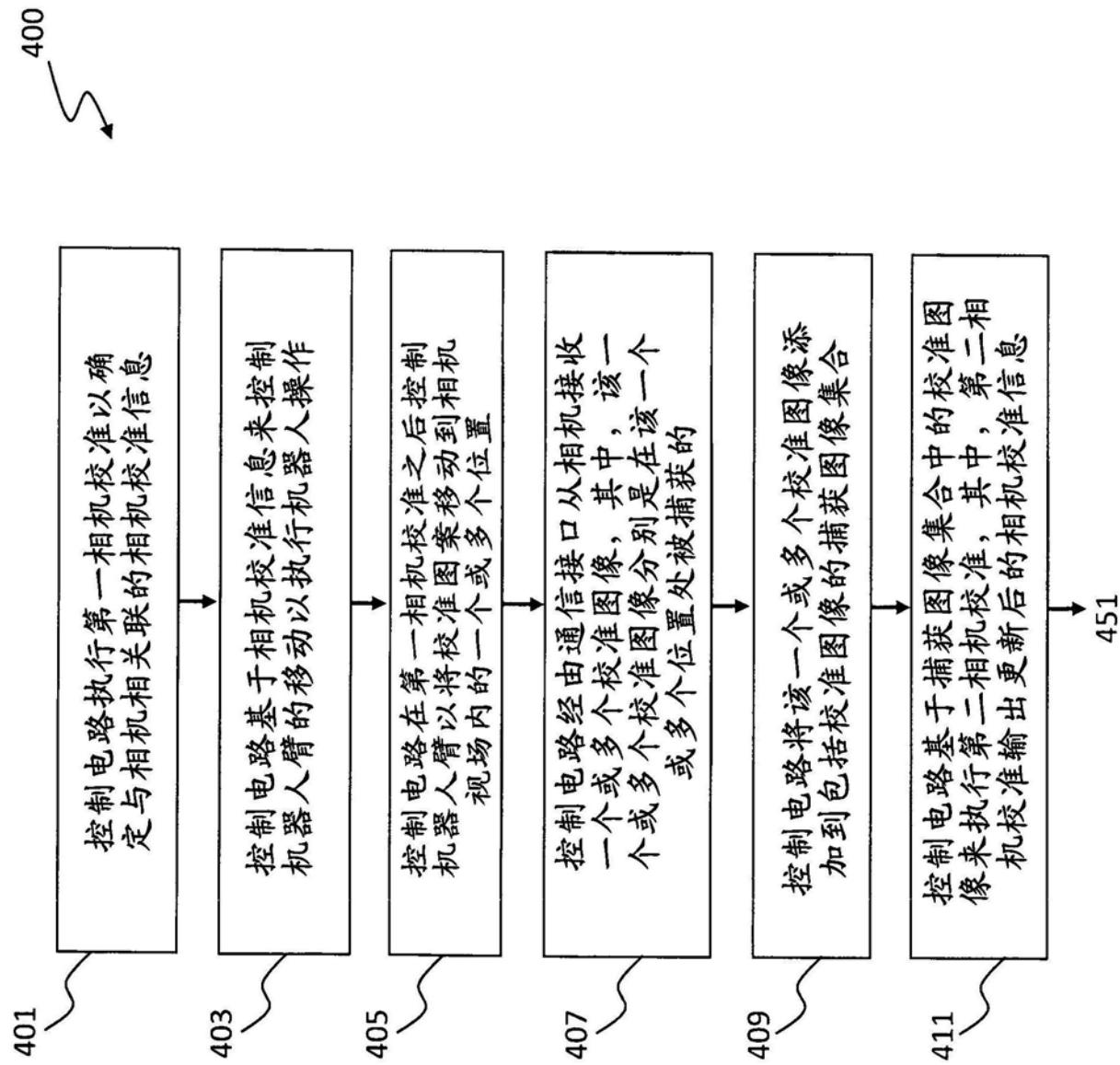


图4A

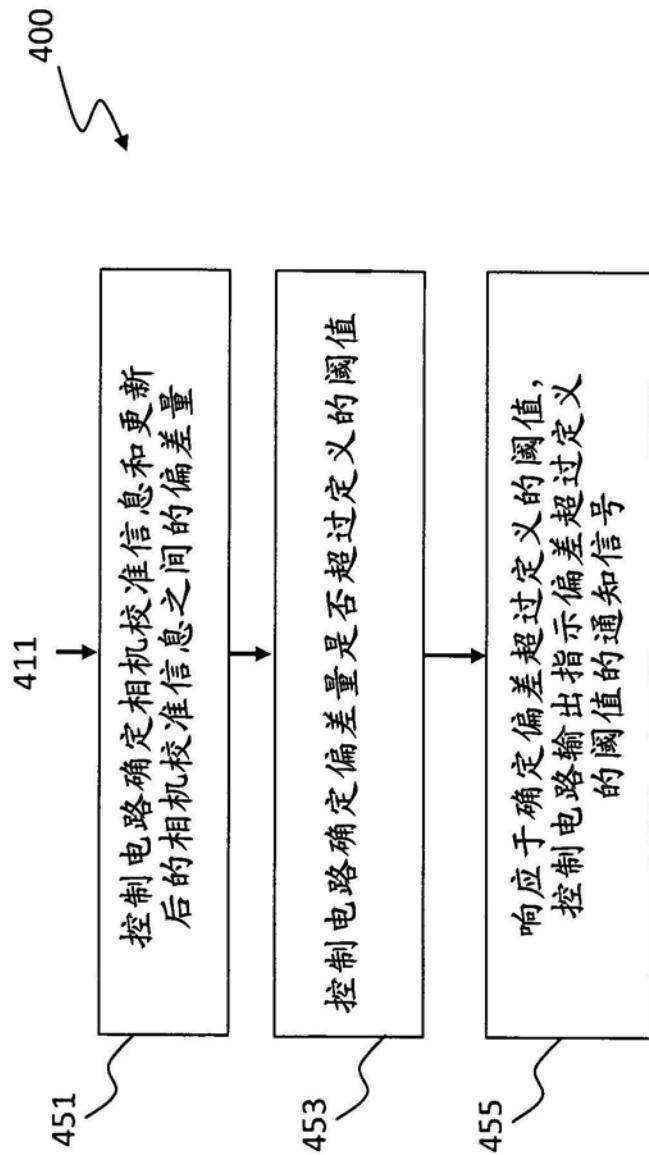


图4B

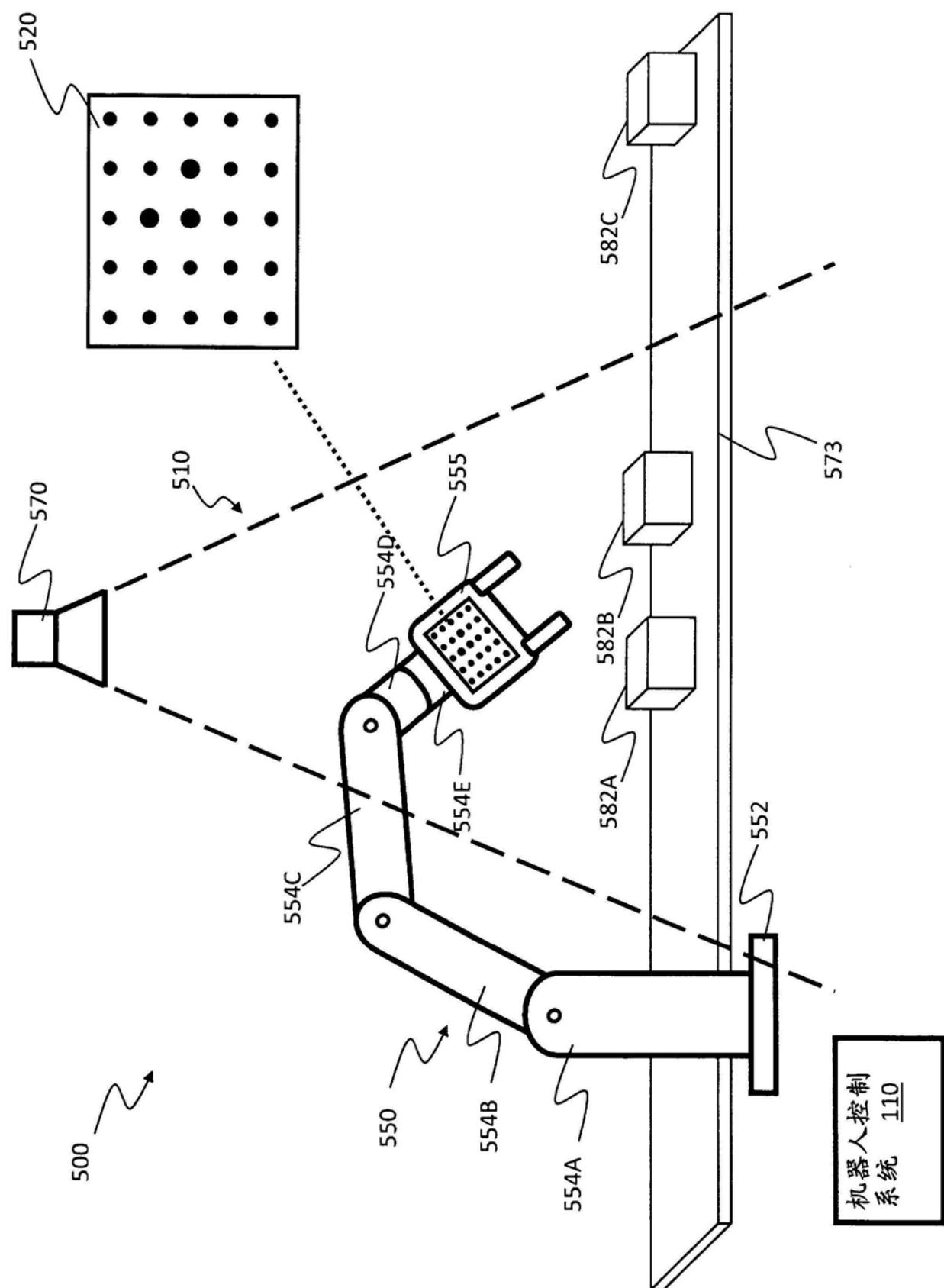


图5A

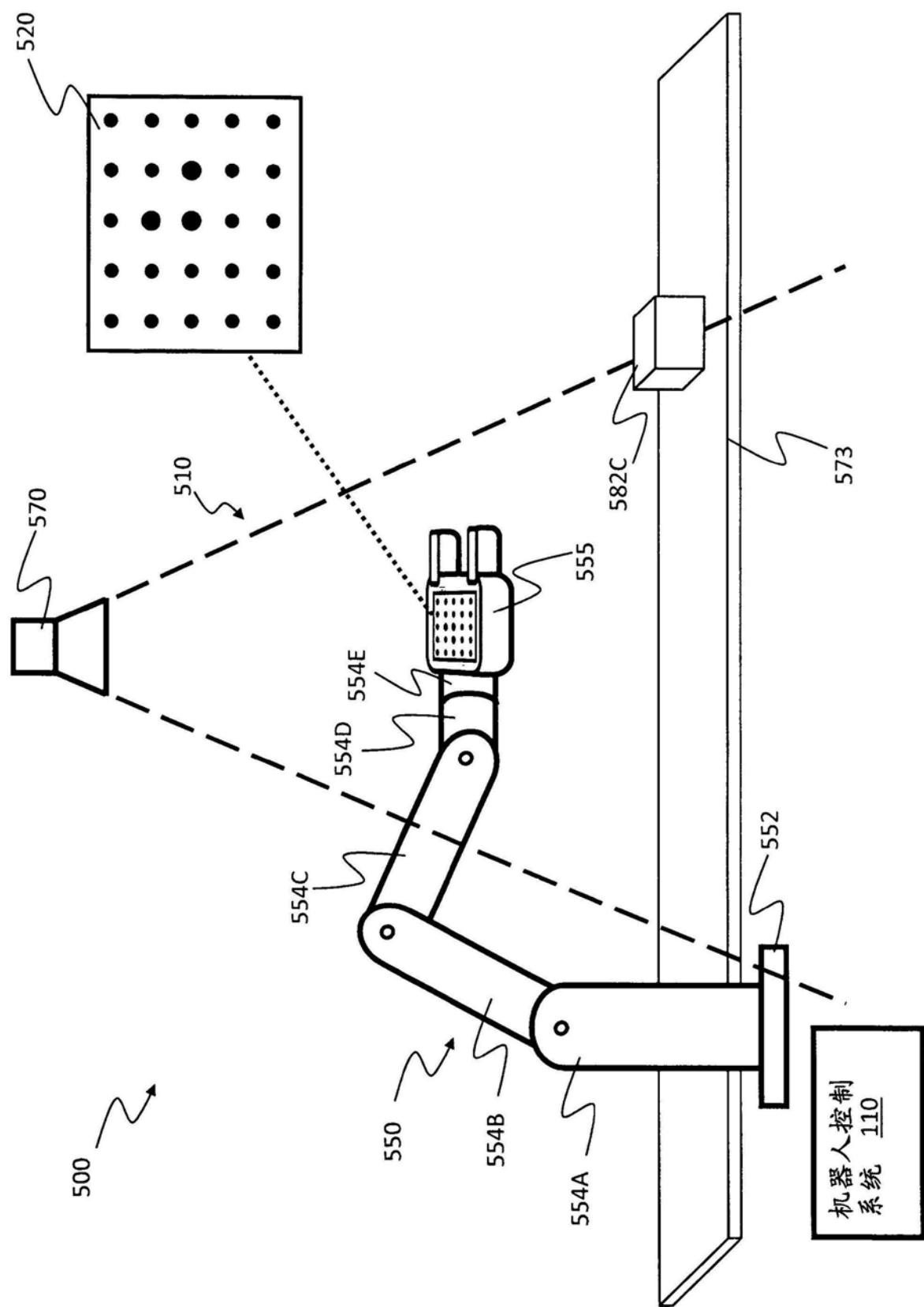


图5B

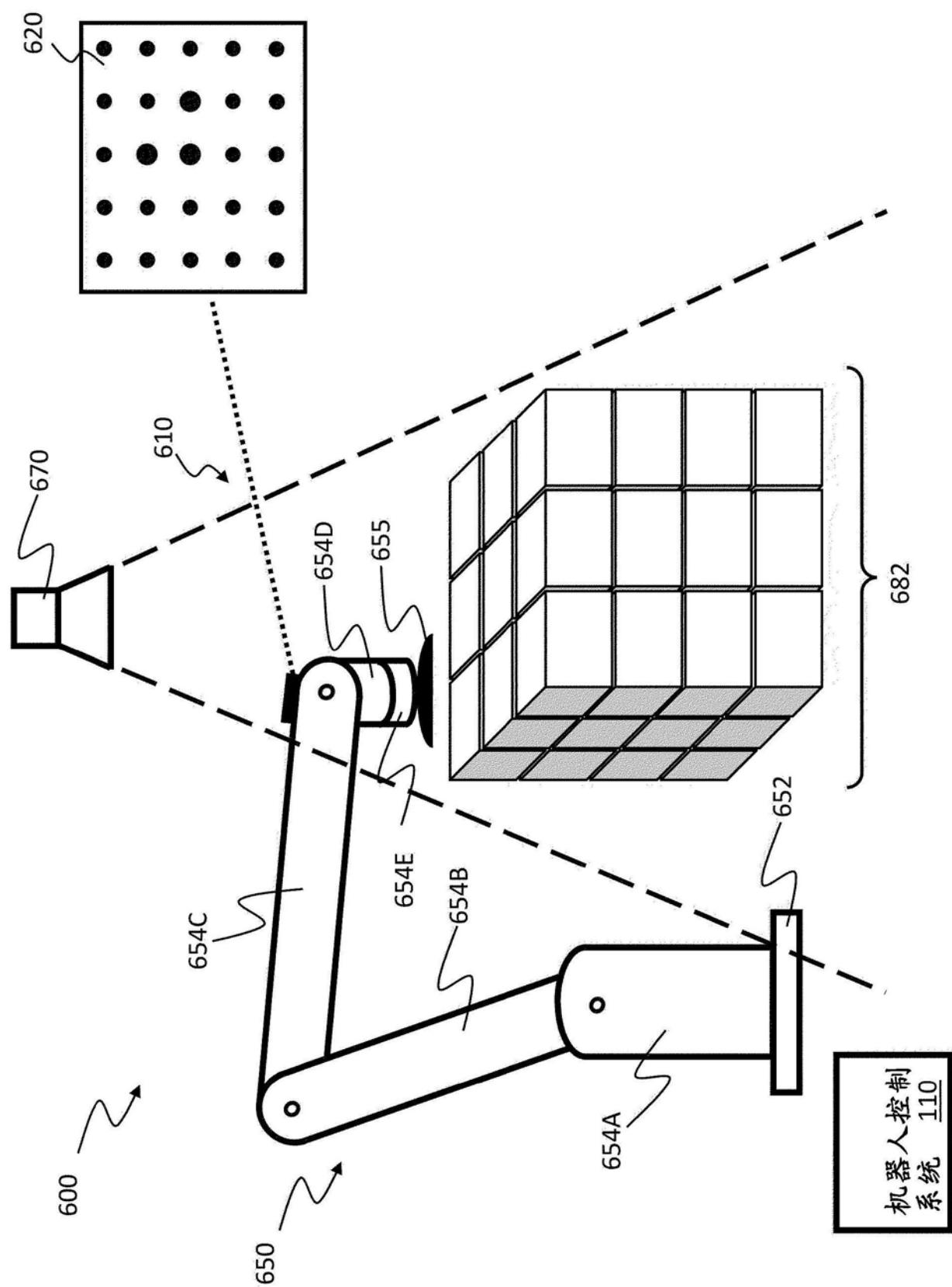


图6A

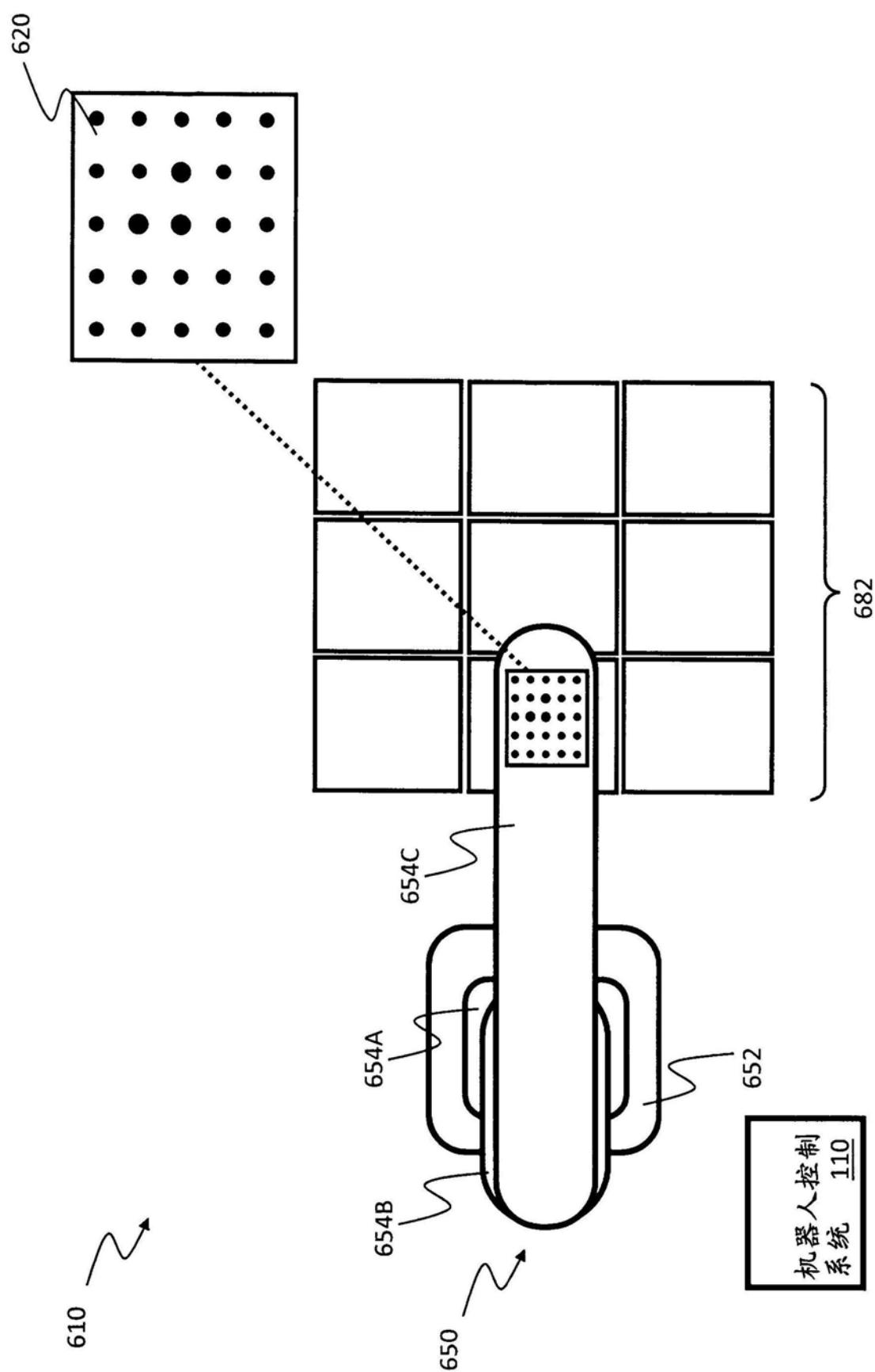


图6B

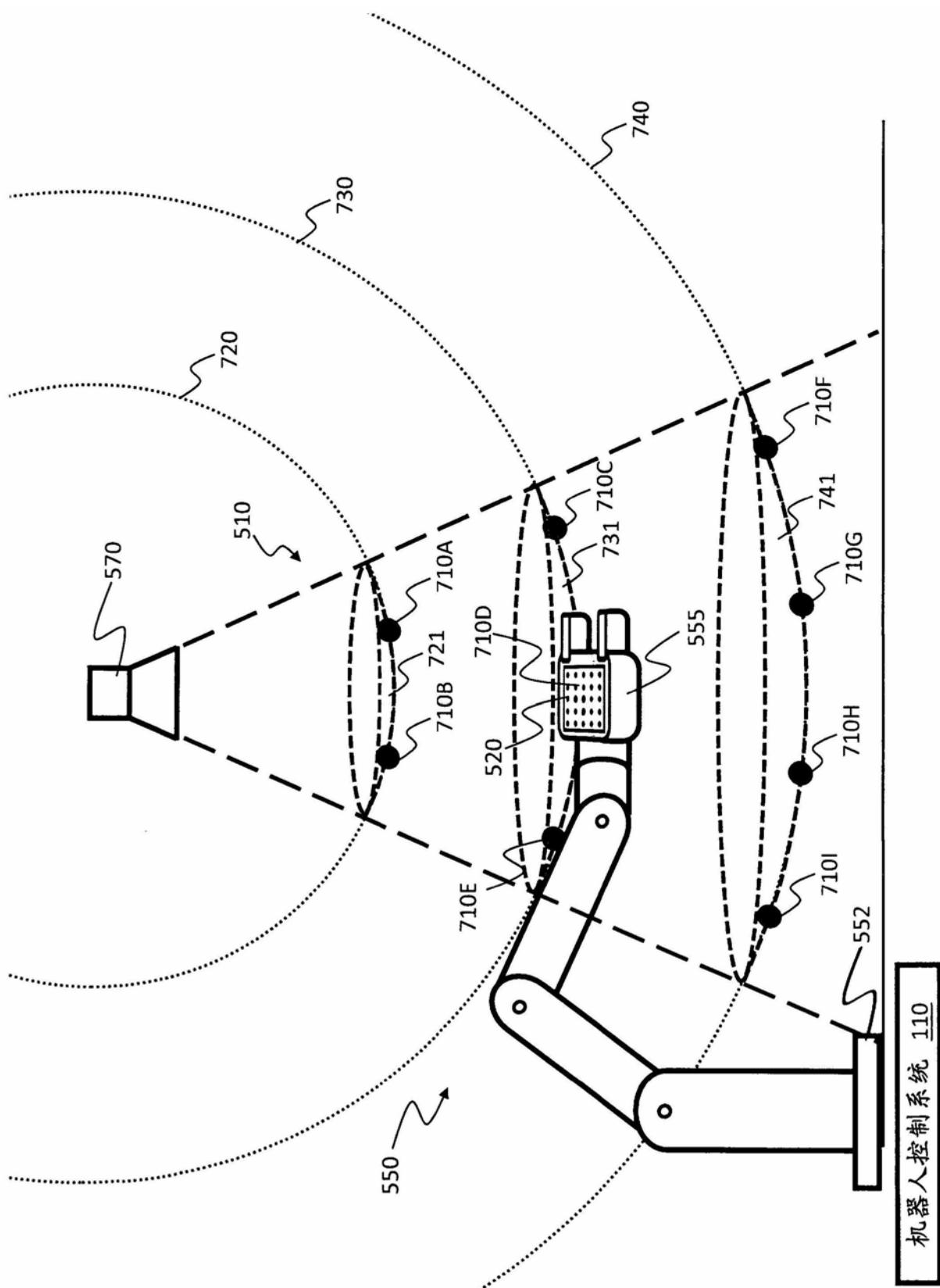


图7A

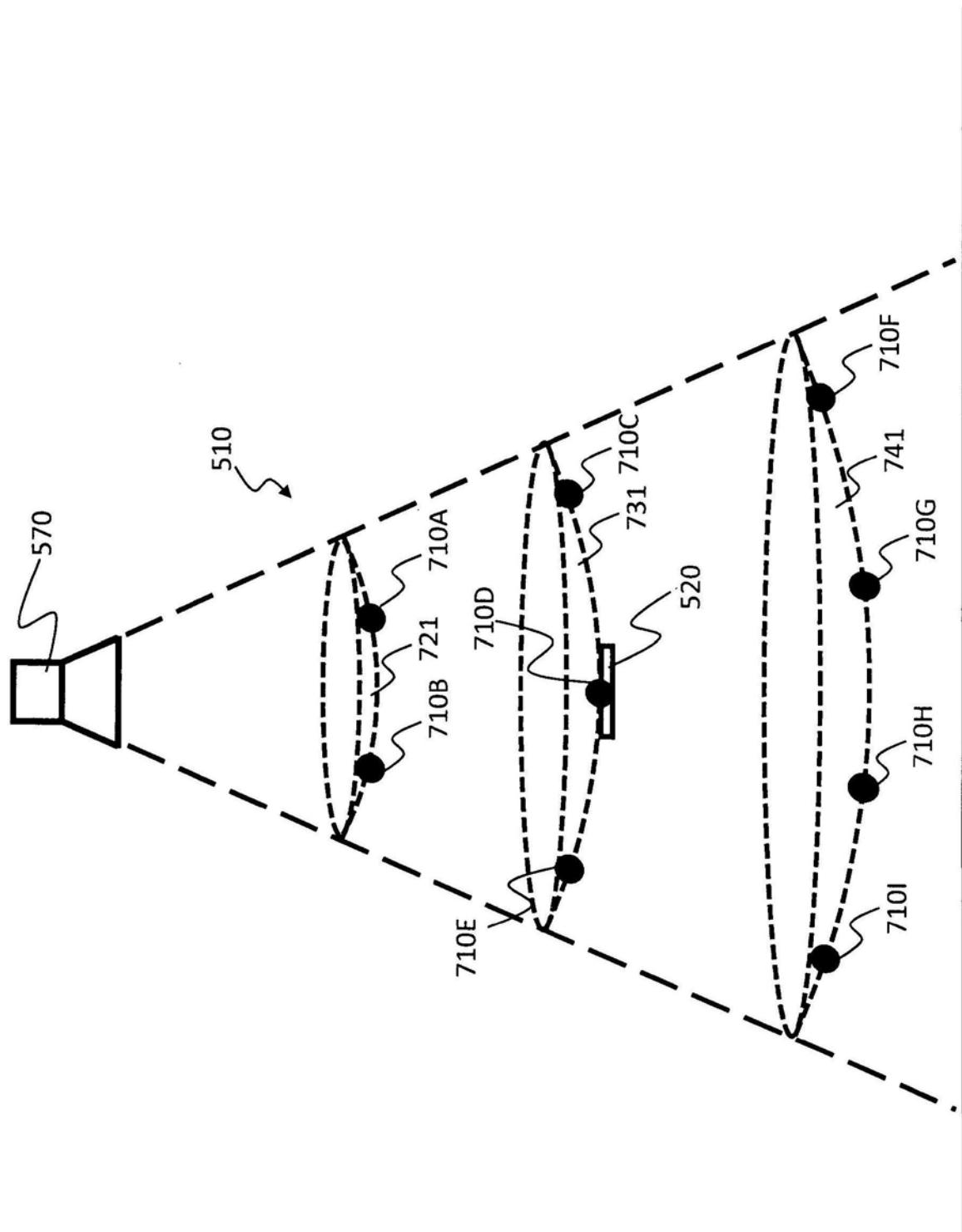


图7B

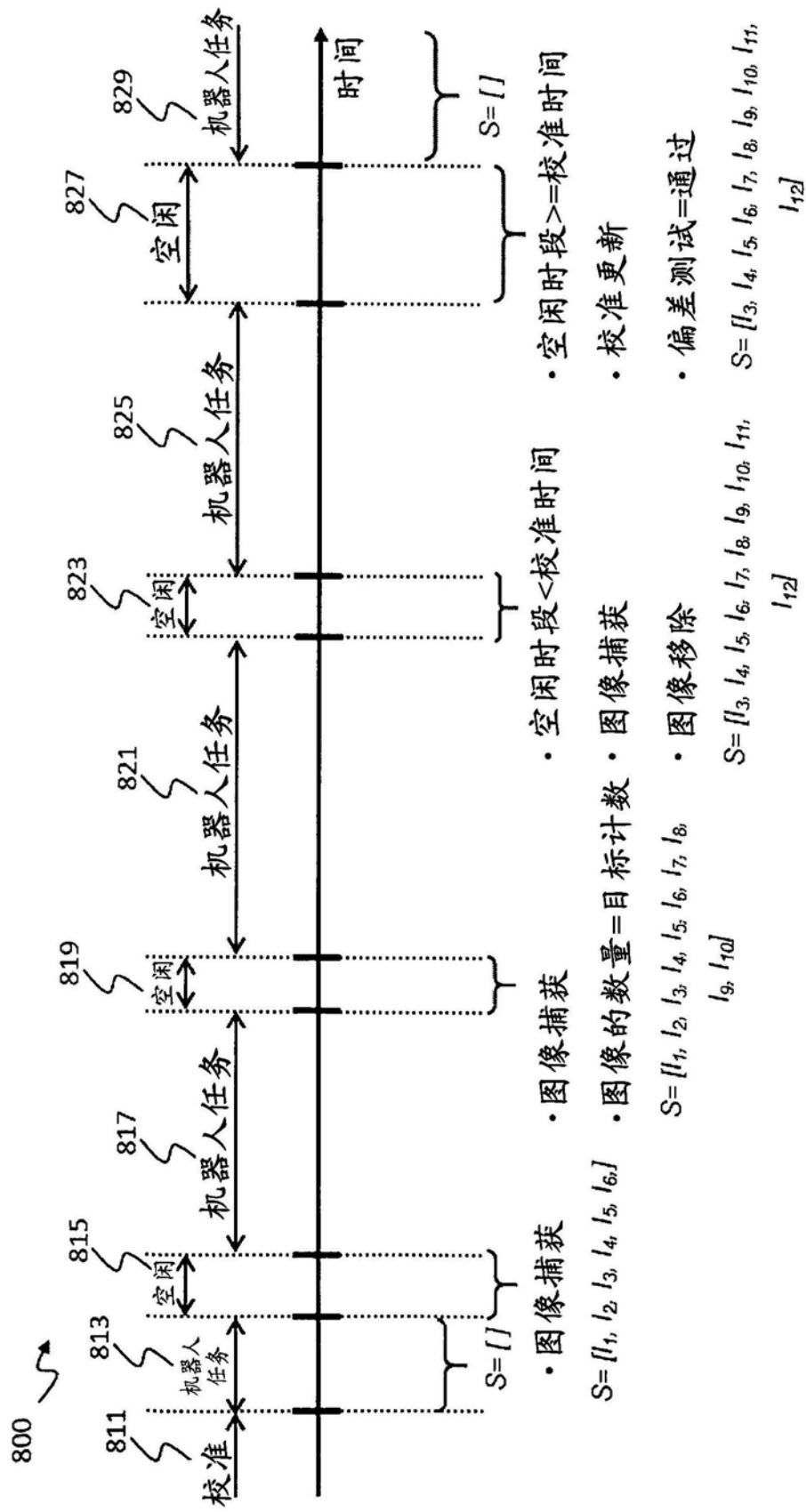


图8

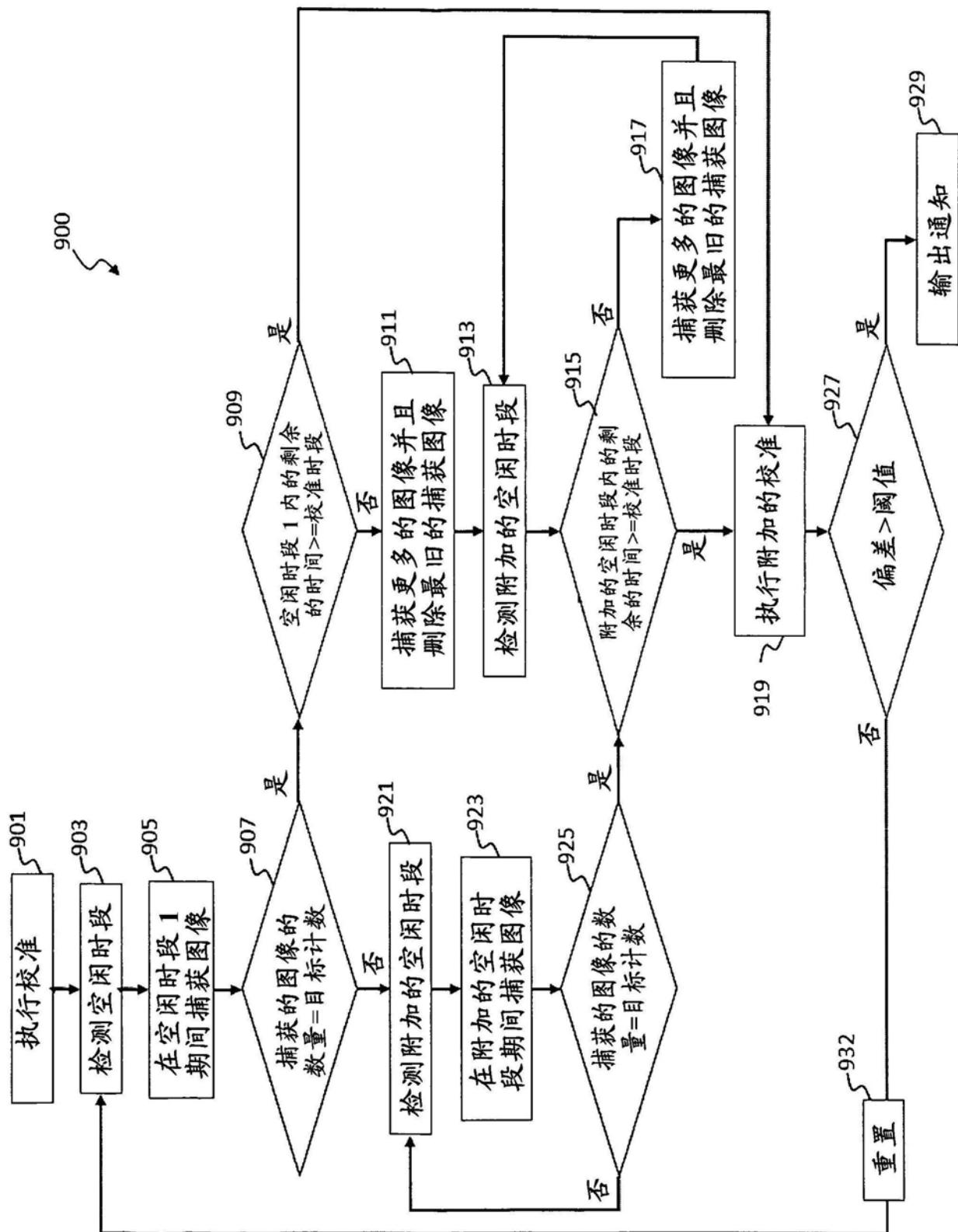


图9

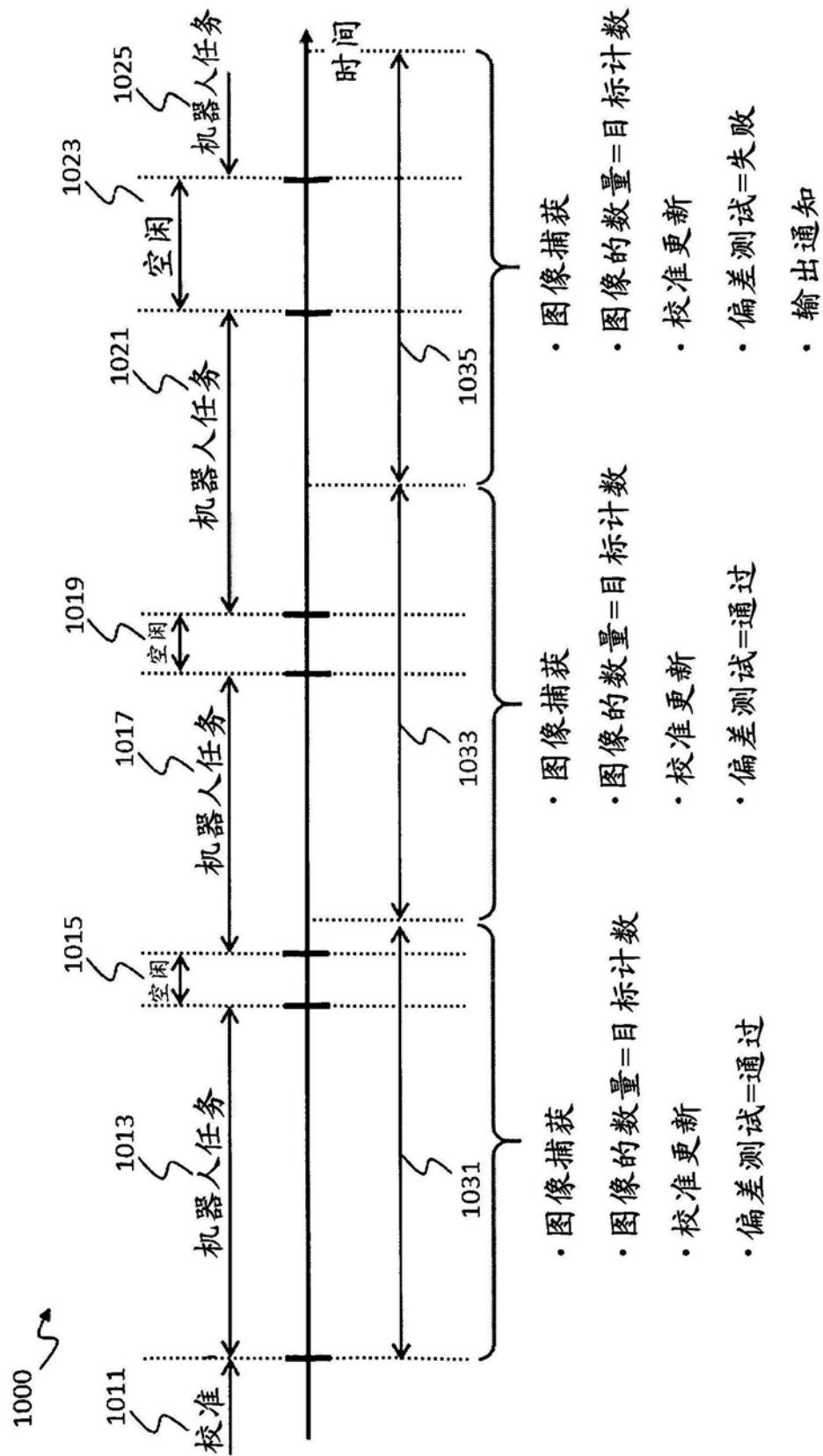


图10

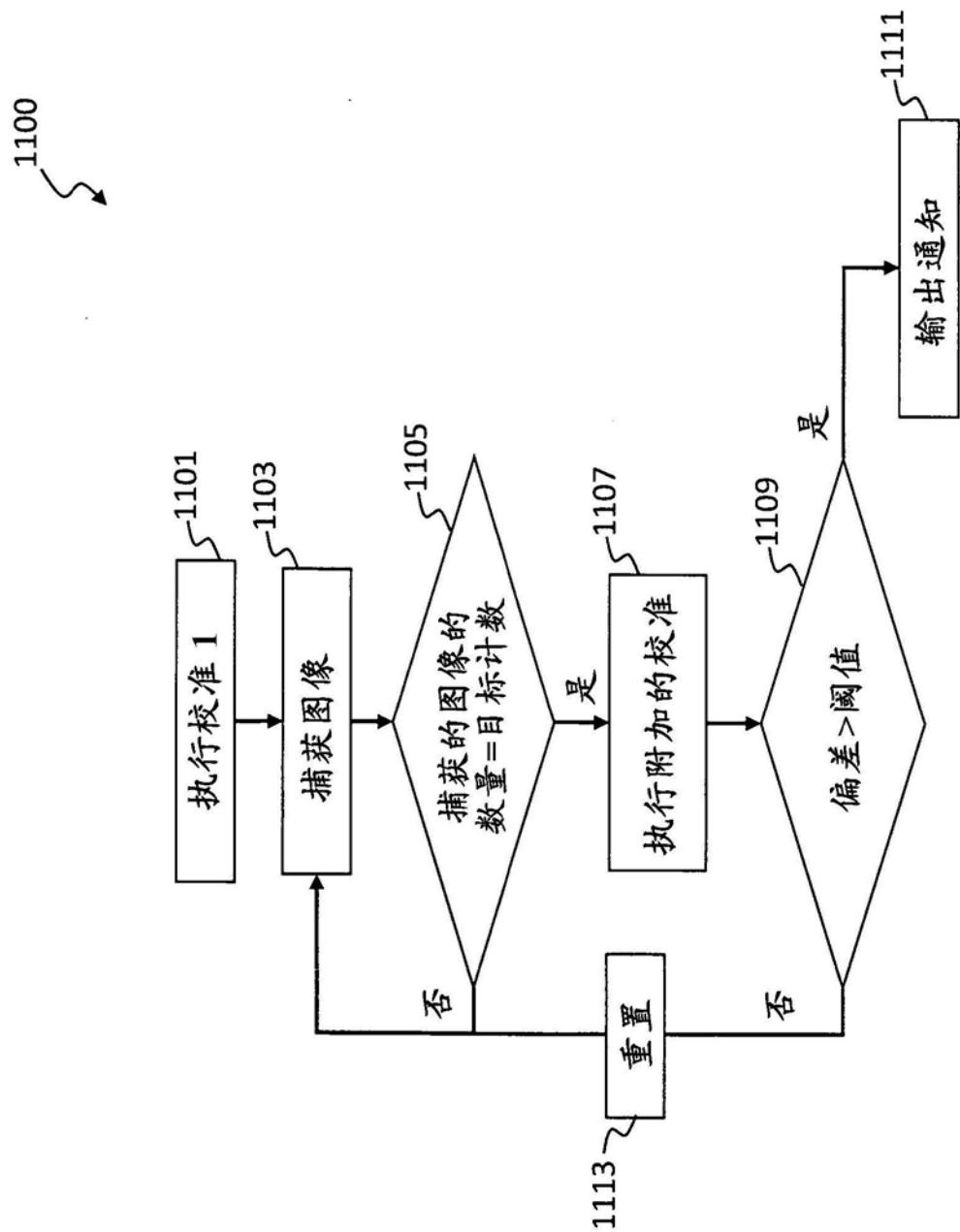


图11