



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 106489103 B

(45) 授权公告日 2021.04.09

(21) 申请号 201580035705.X

(22) 申请日 2015.09.17

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106489103 A

(43) 申请公布日 2017.03.08

(30) 优先权数据
14/512,098 2014.10.10 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2016.12.29

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2015/050775 2015.09.17

(87) PCT国际申请的公布数据
W02016/057185 EN 2016.04.14

(73) 专利权人 美国iRobot公司
地址 美国马萨诸塞州

(72) 发明人 B.雅莫奇 A.博利尤
P.C.巴卢蒂斯

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所
11105

代理人 葛青

(51) Int.Cl.
G05D 1/02 (2020.01)
A01D 34/00 (2006.01)
A01B 69/00 (2006.01)

(56) 对比文件
US 2002049517 A1, 2002.04.25
CN 102018481 A, 2011.04.20
CN 102771246 A, 2012.11.14
CN 102662400 A, 2012.09.12
CN 103744425 A, 2014.04.23
CN 103901890 A, 2014.07.02
US 2012290165 A1, 2012.11.15
US 4306329 A, 1981.12.22

审查员 王玮

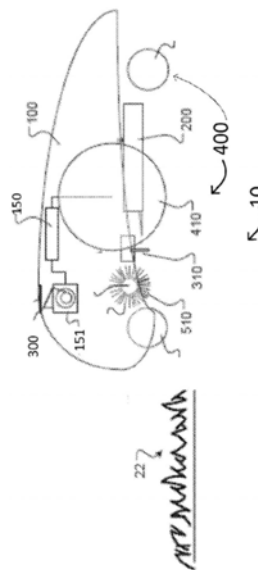
权利要求书3页 说明书14页 附图22页

(54) 发明名称

机器人草坪修剪边界确定

(57) 摘要

本发明公开了一种用自主修剪机器人(10)修剪区域的方法,包括在机器人(10)的非瞬态存储器中存储参考地理空间的周边数据集,该周边数据集对应于修剪机器人(10)被围绕待修剪区域的周边(21)引导时修剪机器人(10)的位置,从周边数据集中移除一个或多个数据点,从而创建修正数据集,以及控制修剪机器人(10)自主修剪由对应于所修正的数据集的边界界定的区域,包括在对应于所修正的数据集中的数据的位置处或附近改变修剪机器人的方向,以便将机器人重新导向回到所界定的区域(20)中。



1. 一种用自主修剪机器人修剪区域的方法,所述方法包括:

在自主修剪机器人的非瞬态存储器中存储参考地理空间的周边数据集合,该参考地理空间的周边数据集合对应于当自主修剪机器人被围绕待修剪区域的周边引导时自主修剪机器人的位置;

经由通信联接到机器人的非瞬态存储器的控制器,比较来自参考地理空间的周边数据集合的至少两个相邻数据点,以确定哪个点对应于与可修剪和不可修剪部分二者都相邻并且与分开可修剪和不可修剪部分的其它点直接相邻的位置;

在无需用户干预的情况下,经由控制器从参考地理空间的周边数据集合中去除所述至少两个相邻数据点中的一个或多个数据点,从而创建修正的数据集合;以及

控制自主修剪机器人自主修剪由对应于修正的数据集合的边界界定的区域,包括在对应于修正的数据集合中的数据的位置处或附近改变自主修剪机器人的方向,以便将自主修剪机器人重新导向到由对应于修正的数据集合的边界界定的区域。

2. 如权利要求1所述的方法,还包括,在存储所述参考地理空间的周边数据集合之前,确定沿着待修剪区域的周边的离散标记的位置。

3. 如权利要求2所述的方法,其中,所述参考地理空间的周边数据集合在自主修剪机器人相对于离散标记围绕周边被引导时关于地理空间被参考。

4. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,还包括,在从所述参考地理空间的周边数据集合中去除一个或多个数据点之前,从自主修剪机器人的在待修剪区域内的位置确定参考点。

5. 如权利要求4所述的方法,包括提示操作者将自主修剪机器人定位在待修剪区域内,然后启动参考点确定。

6. 如权利要求4所述的方法,其中,根据参考点相对于对应于修正的数据集合的边界的位置来确定对应于修正的数据集合的边界是否是待修剪区域的内部边界或外部边界。

7. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,存储所述参考地理空间的周边数据集合包括对应于自主修剪机器人的位置来标记二维数据阵列的基元。

8. 如权利要求7所述的方法,其中,要去除的一个或多个数据点包括改变一个或多个标记基元中的条目以指示所述一个或多个标记基元不对应于周边位置。

9. 如权利要求8所述的方法,其中,要去除的一个或多个数据点是不与可修剪和不可修剪基元二者都相邻的边界基元。

10. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,存储所述参考地理空间的周边数据集合包括确定是否自主修剪机器人正在沿向前或向后方向被引导,并且在自主修剪机器人正沿向后方向被引导时暂停数据存储。

11. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,还包括,在控制所述自主修剪机器人自主地修剪区域之前,确定是否所存储的参考地理空间的周边数据表示连续路径。

12. 如权利要求11所述的方法,还包括添加数据点以填充小于预定宽度的任何路径间隙。

13. 如权利要求11所述的方法,还包括,在确定存储的参考地理空间的周边数据集合表示限定大于预定宽度的间隙的不连续路径时,发信号通知操作者恢复对自主修剪机器人围绕周边的引导,并且在恢复引导期间存储额外的参考地理空间的周边数据。

14. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,还包括,在控制所述自主修剪机器人自主修剪区域之前,改变存储的参考地理空间的周边数据集合的对应于限定小于135度内角的周边路径段的部分,以定义平滑边界。

15. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,当自主修剪机器人保持不动小于预定时间间隔时,暂停参考地理空间的周边数据集合的存储,并且在自主修剪机器人运动时恢复参考地理空间的周边数据集合的存储。

16. 如权利要求15所述的方法,其中,响应于自主修剪机器人保持不动大于预定时间间隔,结束参考地理空间的周边数据集合的存储。

17. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,控制所述自主修剪机器人自主修剪区域包括确定自主修剪机器人是否在距离对应于修正的数据集合的边界预定距离内,并且响应于确定自主修剪机器人在所述预定距离内,减慢自主修剪机器人的修剪速度。

18. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述周边是划定待修剪区域的外部周边。

19. 如权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述周边是划定由待修剪区域包围的区域的内部边界。

20. 一种自主修剪机器人,包括:

机器人本体,承载割草器;

驱动系统,包括支撑机器人本体的动力轮;

控制器,可操作地联接到动力轮,用于操纵自主修剪机器人通过界定的草坪区域同时割草,所述控制器被配置为:

在教导模式中,在非瞬态存储器中存储参考地理空间的边界数据集合,该参考地理空间的边界数据集合对应于自主修剪机器人被围绕界定的草坪区域的界限引导时自主修剪机器人的位置;

在教导模式中,存储对应于界定的草坪区域内的参考位置的参考数据;

比较来自参考地理空间的周边数据集合的至少两个相邻数据点,以确定哪个点对应于与界定的草坪区域的参考位置最远的位置;

在无需用户干预的情况下,从参考地理空间的边界数据集合中去除对应于空间上比其它相邻位置更接近参考位置的位置的所述至少两个相邻数据点中的一个或多个数据点,其它相邻位置由参考地理空间的边界数据集合中的其它数据点表示,从而创建修正的边界数据集合;然后

在自主操作模式中,控制所述自主修剪机器人自主修剪由对应于修正的边界数据集合的路径界定的区域,包括在对应于修正的边界数据集合中的数据的位置处或附近改变自主修剪机器人的方向,以便将自主修剪机器人重新导向到由对应于修正的边界数据集合的边界界定的区域。

21. 如权利要求20所述的自主修剪机器人,还包括发射器/接收器,其承载在机器人本体上并且被配置为与在教导模式下界定所界定的草坪区域的周边标记通信。

22. 如权利要求20或权利要求21所述的自主修剪机器人,还包括可移除手柄,其可固定到机器人本体并且可由操作者抓握以在教导模式中手动地围绕所界定的草坪区域的界限引导自主修剪机器人。

23. 如权利要求22所述的自主修剪机器人,其中,所述自主修剪机器人被配置为检测所述可移除手柄是否附接到机器人本体。

24. 如权利要求22所述的自主修剪机器人,其中,所述控制器被配置为响应于检测到所述可移除手柄被附接而启动教导模式。

25. 如权利要求22所述的自主修剪机器人,其中,所述可移除手柄包括与驱动系统通信的停用开关,所述停用开关配置为当停用开关未被激活时发送信号以关闭自主修剪机器人。

机器人草坪修剪边界确定

技术领域

[0001] 本发明涉及用于割草的自主移动机器人。

背景技术

[0002] 执行家庭功能(例如地板清洁和草坪切割)的自主机器人现在是易于获得的消费产品。商业上成功的机器人不是不必要的复杂,并且通常在受限区域内随机地操作。在地板清洁的情况下,这种机器人通常限制在(i)接触的墙壁和住宅的房间内的其他障碍物内,(ii) IR检测到的向下导向的楼梯(直立壁)中;和/或(iii)用户放置的可检测屏障,例如定向IR光束、物理屏障或磁带。墙提供很多受限周边。其他机器人可以尝试使用传感器和/或有源或无源信标(例如声纳、RFID或条形码检测或各种机器视觉)的复杂系统来绘制住宅地图。

[0003] 一些自主机器人草坪修剪机使用用于限制随机运动机器人修剪机的连续边界标记(例如边界线)。边界线旨在将机器人限制在草坪或其他适当的区域内,以避免损坏院子的非草坪区域或侵入到邻近的财产上。边界标记通常是围绕待修剪的财产连续导电环。虽然引导导体可以被以岛状引入到财产中以围绕花园或其它限制区域,但是其仍然是连续的环路,并且利用在几英尺的距离处可检测为磁场的AC电流而激励。引导导体环必须通电,通常来自墙上插座。在界定区域内,修剪机器人可以在机器人靠近引导导体时随机地“反弹”,或者可以沿着引导导体。一些修剪机也接触物理障碍并且从物理障碍反弹。

发明内容

[0004] 在本公开的一些实施方式中,公开了一种用自主修剪机器人修剪区域的方法,该方法包括在机器人的非瞬态存储器中存储参考地理空间的周边数据集合,周边数据集合对应于修剪机器人被围绕待修剪区域的周边引导时修剪机器人的位置,从周边数据集合中去除一个或多个数据点,从而创建修正数据集合,以及控制修剪机器人自主修剪由对应于所修正的数据集合的边界界定的区域,包括在对应于所修正的数据集合中的数据的位置处或附近改变修剪机器人的方向,以便将机器人重新引导到界定的区域中。在一些方面,在存储参考地理空间的数据之前,确定沿着待修剪区域的周边的离散标记的位置。参考地理空间的数据在修剪机器人相对于离散标记围绕周边被引导时参考地理空间。在从周边数据集合中去除数据点之前,从修剪机器人的在待修剪的区域内的位置确定参考点。该方法包括提示操作者将修剪机器人定位在待修剪的区域内,然后启动参考点确定。根据参考点相对于边界的位置来确定对应于修正的数据集合的边界是待修剪的区域的内部边界还是外部边界。

[0005] 在本公开的其它方面,该方法包括,存储参考地理空间的周边数据,存储参考地理空间的周边数据包括对应于修剪机器人的位置标记二维数据阵列的基元。还可能的是,去除一个或多个数据点包括改变一个或多个标记基元中的条目以指示这样的基元不对应于周边位置。要去除的数据点是不与可修剪和不可修剪基元二者都相邻的边界单元。存储周

边数据集包括确定修剪机器人是否正在沿向前或向后方向被引导,并且在修剪机器人正沿向后方向被引导时暂停数据存储。在控制机器人自主地修剪区域之前,确定所存储的周边数据是否表示连续路径。该方法可以包括添加数据点以填充小于预定宽度的任何路径间隙。在确定存储的周边数据表示限定大于预定宽度的间隙的不连续路径时,发信号通知操作者恢复对修剪机器人围绕边界的引导,并且在恢复引导期间存储额外的周边数据。在控制机器人自主修剪区域之前,改变存储的周边数据集的对应于限定小于135度的内角的周边路径段的部分,以定义平滑边界。当被引导的草坪修剪机器人保持不动小于预定时间间隔时,暂停周边数据集的存储,并且在修剪机器人运动时恢复周边数据集的存储。响应于被引导的修剪机器人保持不动大于预定时间间隔,结束周边数据集的存储。控制修剪机器人自主修剪区域包括确定修剪机器人是否在距离边界预定距离内,并且响应于确定修剪机器人在预定距离内,减慢机器人的修剪速度。周边是划定待修剪的区域的外部周边。周边是划定由待修剪的区域包围的区域的内部边界。

[0006] 在本公开的其它方面,自主修剪机器人包括承载割草器的机器人本体、包括支撑机器人本体的动力轮的驱动系统、可操作地联接到动力轮的控制器,用于操纵修剪机器人通过界定的草坪区域同时割草。控制器被配置为:在教导模式中,在非瞬态存储器中存储参考地理空间的边界数据集,边界数据集对应于修剪机器人被围绕草坪区域的界限引导时修剪机器人的位置,在教导模式中,存储对应于草坪区域内的参考位置的参考数据,从该边界数据集中去除对应于空间上比其它相邻位置更接近参考位置的位置,其它相邻位置由边界数据集中的其它数据点表示,从而创建修正的边界数据集,然后在自主操作模式中,控制修剪机器人自主修剪由对应于修正边界数据集的路径界定的区域,包括在对应于修正数据集中的数据的位置处或附近改变修剪机器人的方向,以便将机器人重新导向到所界定的区域。

[0007] 实施方式可以包括发射器/接收器,其承载在机器人本体上并且被配置为在教导模式下与界定草坪区域的周边标记通信。可移除手柄,其可固定到机器人本体并且可由操作者抓握以在教导模式中手动地围绕草坪区域的边界引导修剪机器人。机器人被配置为检测手柄是否附接到机器人本体。控制器被配置为响应于检测到手柄被附接而启动教导模式。手柄包括与驱动系统通信的停用开关,停用开关配置为当停用开关没有被激活时发送信号以关闭修剪机器人。

[0008] 在附图和下面的描述中阐述了本发明的一个或多个实施例的细节。从说明书和附图中,本发明的其它特征、目的和优点将是显而易见的。

附图说明

[0009] 图1A是放置在待修剪的草坪上的自主移动草坪修剪机器人的示意图,

[0010] 图1B是示出人类操作者用自主移动草坪修剪机器人导航草坪周边的示意图,

[0011] 图1C是示出自主移动草坪修剪机器人自主地导航草坪的示意图,

[0012] 图2A是具有边界标记的草坪的示意性俯视图图像,

[0013] 图2B是具有UWB信标的草坪的示意性俯视图图像,示出了每个信标、坞站和机器人之间的通信,

[0014] 图3是用于初始化和建立UWB信标在草坪周围的位置的过程的流程图,

- [0015] 图4A-F是示出基于割草系统初始化过程的UWB信标的示意图，
- [0016] 图5A-5D提供了示出用于估计传感器的位置的过程的示意图，
- [0017] 图6A是基于人类操作者沿着草坪的周边并且围绕草坪内的内部边界穿过的路径生成的非平滑路径的示意图，
- [0018] 图6B示出了具有期望的可修剪区域和不可修剪区域(包括禁止区域)的草坪的示意图，
- [0019] 图6C是由用于图6B中的草坪的机器人确定的得到的可修剪/不可修剪区域的示意图，
- [0020] 图6D是响应于人类操作者执行推/拉动作以确定草坪周边而指示内部、边界和外部单元的初始2D网格地图视图，
- [0021] 图6E是图6D只选择外部边缘边界单元之后的地图，
- [0022] 图6F是图6E在仅用被表示为边界的外部边缘单元进行平滑之后的地图，
- [0023] 图7是确定平滑的外部边界的方法的流程图，
- [0024] 图8是确定平滑的内部边界的方法的流程图，
- [0025] 图9A是示出距离边界两英尺的“近边界”或“注意”区域的示意图，
- [0026] 图9B是用于在导航草坪时由机器人执行的速度/姿态调整的过程的流程图，以及
- [0027] 图10是确定平滑的边界的替代方法的流程图。
- [0028] 在各个附图中，相同的附图标记指示相同的元件。

具体实施方式

[0029] 参考图1A-1C,自主机器人草坪修剪机10被配置为修剪草坪20。自主机器人草坪修剪机10关于草坪20移动并且在它通过草坪20时切割草22。机器人草坪修剪机10包括本体100、固定到本体100的表面处理器200、包括至少一个动力轮410的驱动系统400以及具有由本体100承载并且响应于至少一个表面特性的至少一个表面传感器310的传感器系统300。驱动系统400由本体100承载并且配置为操纵机器人草坪修剪机10跨过草坪20,同时沿着至少一个表面特性。在该示例中,表面处理器200包括浮动在随动轮410上的往复式对称割草器。在一些示例中,轮可以是连续履带或槽面。在其它示例中,表面处理器200可以包括旋转切割器、撒布器或收集器。草梳器510也可以由本体100承载。机器人本体100支撑用于为机器人草坪修剪机10的任何电气部件(包括驱动系统400)供电的电源106(例如电池)。无线操作者反馈单元700将信号发送到与控制器150通信的机器人草坪修剪机10上的发射器/接收器151。驱动系统400被配置为遵循从操作者反馈单元700接收的信号。机器人草坪修剪机10可以停放在基站或坞站12处。在一些示例中,坞站12包括用于对由机器人本体100容纳的电池160充电的充电系统。

[0030] 使用机器人草坪修剪机10的重要步骤是限定待修剪的草坪20的周边21。在一些实施方式中,作为安全措施,机器人草坪修剪机10的自主使用只能在周边或边界已经确定并存储在机器人草坪修剪机10的非暂时性存储器中时才执行。在一些实施方式中,人类操作者通过使用附接到机器人本体100的手柄116推动机器人10来手动地限定边界21,如图1B所示。一旦教导了周边,机器人可以行驶通过草坪/区域以在没有进一步的人类干预的情况下进行切割。

[0031] 参考图1B,在周边教导模式中,人类操作者手动引导机器人草坪修剪机10以建立草坪20的周边21。确定周边21可以包括通过附接到本体100的推杆或手柄116引导机器人草坪修剪机10。推杆116可以从机器人本体100拆卸或可收起在机器人本体100上。在一些情况下,推杆116包括开关、速度设定或用于使机器人草坪修剪机10前进和转向的操纵杆。在一个实例中,推杆116包括一个或多个压力或应变传感器,其由机器人草坪修剪机10监测以在压力方向上移动或转向(例如两个传感器,用于监测左右压力或者杆位移以使机器人草坪修剪机10转弯)。在另一实例中,推杆116包括与驱动系统400通信以关闭机器人草坪修剪机10的紧急制动或停用开关117A。开关117A可以被配置为紧急制动开关,以在推杆116的操作者停止使用或不再保持与推杆116的接触的情况下关闭机器人草坪修剪机10。开关117A可以被配置为当推杆116被收起时用作停用开关,从而允许用户关闭机器人草坪修剪机10。紧急制动或停用开关117A可以包括电容传感器或控制杆。在另一实例中,推杆116包括离合器117B以接合/脱离驱动系统400。当由推杆116手动操作时,机器人草坪修剪机10可能以更快的速度操作。例如,机器人草坪修剪机10可以以约0.5m/s的自主速度和比0.5m/s(包括可致动到正常速度的120-150%的“增速”速度)更快的手动速度操作。在一些示例中,推杆116在机器人的自主草坪修剪期间可以是可折叠的或可拆卸的。可替代地,推杆116可以被配置为拉杆、拉带、刚性手柄或可折叠手柄中的一种。在一些实施例中,推杆116可以被收起在机器人本体100上或机器人本体100中。

[0032] 如上所述,在自主修剪草坪之前,机器人草坪修剪机10完成教导阶段。在周边教导阶段期间,人类操作者可以要求改正的方式导引机器人草坪修剪机10,从而将机器人草坪修剪机10置于不可教导的状态。当机器人草坪修剪机10在教导运行期间检测到其处于不可教导状态时,机器人草坪修剪机10(例如经由操作者反馈单元700,如移动设备上的显示器或集成在手柄116中的显示器)警告操作者,以改变机器人草坪修剪机10的方向或速度,从而使机器人草坪修剪机10能够继续记录周边21和/或返回到可通过的地形上行进。例如,当操作者将机器人草坪修剪机10推入草坪20的区域(机器人草坪修剪机10在该区域中丧失了确定其位置的能力)中时,当用户处于与第一教导路径不同的第二教导路径上时,或者当用户推动机器人草坪修剪机10过快或推动机器人草坪修剪机10到太过颠簸或倾斜的地形上时,机器人草坪修剪机10可能进入不可教导状态。

[0033] 例如,操作者可以试图在草皮和岩石之间推动机器人草坪修剪机10,使机器人草坪修剪机10以过大的角度(例如超过30度)倾斜。或者,操作者可以尝试教导机器人草坪修剪机10经过机器人草坪修剪机10在自主模式中不能经过的地形的路径。在这样的情况下,机器人草坪修剪机10(例如经由操作者反馈单元700)警告操作者选择不同的路径。如前所述,机器人草坪修剪机10可以经由操作者反馈单元700通过显示器上的视觉信号、通过扬声器的可听信号和/或触觉信号(例如来自操作者反馈单元700的振动单元的振动)来警告操作者。

[0034] 如果操作者在教导模式期间太快或太慢推动机器人草坪修剪机10,从而将机器人置于不可教导的状态,则机器人草坪修剪机10提示用户增加或降低机器人草坪修剪机10的速度。在一些示例中,操作者反馈单元700包括速度指示器,当机器人草坪修剪机10以大于或低于阈值速度的速度行走时,速度指示器将发光或闪烁(绿色、黄色、红色光)。

[0035] 如下面将参考图2A讨论的,边界标记805可以沿着草坪20的周边设置,以帮助机器

人草坪修剪机10定位。在一些情况下,边界标记805发出机器人草坪修剪机解读的信号,以确定其相对于边界标记的位置。在其它示例中,边界标记805是无源的。在任一情况下,当机器人草坪修剪机10失去与边界标记805的联系时,机器人草坪修剪机10可以警告用户改变路径以保持在边界标记805的限制内。

[0036] 在一些示例中,教导例程需要操作者第二次(或更多次)通过草坪20的周边21。一旦操作者完成第一轮教导,完成围绕待修剪的区域的周边闭合环,则机器人草坪修剪机10可以警告操作者需要第二轮。在一个示例中,操作者按下STOP按钮以肯定地指示围绕草坪20的周边21的一轮教导完成。在一些示例中,机器人草坪修剪机10允许操作者在第一轮教导之后立即完成第二轮教导或等以后再说。如果操作者完成第二轮或随后一轮的教导,并且机器人草坪修剪机检测到两个确定的周边之间的大于阈值偏差的偏差,则机器人草坪修剪机10警告用户明显的差异并且提示进行另一轮教导以学习草坪20的周边21。

[0037] 当周边教导过程完成时,用户可以将机器人草坪修剪机10停靠在其坞站12(参见图1A)中,从而允许机器人草坪修剪机10在修剪之前再充电。

[0038] 在一些实施方式中,机器人草坪修剪机10包括边界检测系统800,边界检测系统800包括设置在机器人本体100上的发射器/接收器151和无源边界标记805(图2A)。无源边界标记805的类型可以包括:LIDAR扫描匹配、无源LIDAR回射器(信标)或它们两者一起。在一些示例中,边界标记805包括:RADAR扫描匹配(雷达显示点)、RADAR回射器或两者。在包括沿着草坪20的周边21放置的边界标记805的实施方式中,边界标记805可以通过由发射器/接收器151(参见图1B)执行的相邻扫描匹配数据来单独识别。在扫描匹配中,机器人草坪修剪机10可以将驱动时以在给定时间进行的扫描与作为存储在存储器中的每个边界标记805的特性的扫描匹配,并且机器人草坪修剪机10因此能够确定其相对于每个单独可识别边界标记805的位置。在一些实施方式中,边界标记805包括机器人草坪修剪机10可感知的其它独立识别器件,如条形码或编码信号,以使得机器人草坪修剪机10能够确定其相对位置。

[0039] 如图2A所示,边界标记805(例如信标)可以围绕草坪20的周边放置,以约束或影响机器人草坪修剪机10的行为。在一些实施方式中,边界标记805产生约束机器人草坪修剪机10不进入标记的边界(即周边21)外侧的虚拟壁。用户将边界标记805放置在沿着周边21的期望位置处。为了创建虚拟墙,边界标记805各自在相邻的边界标记805的视线内。边界标记805可以包括回复原位标记,操作者可以将其放置在指示全局原点的位置(例如坞站12或并排放置的两个边界标记)。操作者沿着草坪20的周边21尽可能均匀地分布边界标记805,以指示限制区域。优选地,周边21的每个主转角由边界标记805标记。

[0040] 可替代地,诸如超宽频带(UWB)信标的地标可以放置在该环境中,并且机器人可以使用这些地标来定位其位置。这些信标可以被放置在可修剪区域内(例如信标810b)、边界上(例如信标810a)或边界外(例如信标810c)。这些信标810(图2B)包括UWB收发器811,其彼此通信以及与位于草坪修剪机器人10上的UWB收发器11通信。各个UWB收发器被放置在机器人修剪机10上(例如机器人草坪修剪机10包括与信标810a-c中的每一个通信的接收器/发射器151)、信标810a-c中的每一个上以及可选地坞站12上。几个信标810a-c围绕可修剪的区域放置,彼此间隔开,并且与坞站12间隔开。如图2B中从机器人草坪修剪机10发出的实线所示,机器人草坪修剪机10与信标810a-c中的每一个和坞站12通信。每个信标810a-c与其它信标中的每一个和坞站12通信。

[0041] 通常,超宽频带(也称为UWB、超宽的频带和超频带)是在低能量水平下操作以用于短距离、高带宽通信的无线电技术。超宽频带传输在大带宽(>500MHz)上传播的信息。在一些示例中,UWB包括来自发射信号带宽超过500MHz或中心频率的20%中的较小者的天线的传输。使用UWB信标810a-c(其包括UWB收发器811a-c)提供了优于其它限制/定位系统的若干优点。通常,超宽频带特性非常适合于短距离应用。超宽频带的使用在自主草坪修剪中可以是有益的,因为信号可以被传输通过/穿过诸如灌木或树木的障碍物,并且提供草坪修剪机器人10相对于UWB信标810a-c的精确定位。UWB收发器811a-c发射全向信号,因此UWB信号的使用可以比视线光学系统(例如基于视觉或基于激光的系统)对于机器人的取向性能更好。另外,UWB信号可以穿过诸如树木和灌木的小障碍物,从而允许将UWB信标放置在围绕可修剪空间的较不可见的位置(例如,如由信标810b和810c之间的传输所示)。

[0042] 如果来自位于院子周围的UWB信标810a-c的UWB信号将用于确定自主草坪修剪机器人在院子内的位置,则需要建立UWB信标810a-c的位置。通常,如下面关于图3更详细地描述的,在UWB系统的初始设置时,执行初始化过程。该过程部分地基于用于确定UWB信标810a-c相对于彼此的位置的多维定标算法,其又可以用于建立机器人10相对于信标的位置。因此,安装UWB信标810a-c的业主或其他人不需要将UWB信标810a-c放置在特定位置,因为系统在初始化时自动确定UWB信标810a-c的位置。UWB信标810a-c的定位的这种灵活性被认为提供了简化自主草坪修剪机器人系统的安装和设置过程的优点。另外,由于信号的全向性质,UWB信标810a-c可以比在某些基于视线的系统中离地面更低,因为机器人10不需要与信标对准(例如在线视布置中),以从信标接收信号。在随后使用时(例如,在每次自主草坪修剪机器人修剪草坪之前),可以执行校准或确认过程以确认UWB信标810a-c仍然在其预期的、先前确定的位置中。

[0043] 参考图3和4A-F,基于UWB信标的草坪修剪系统初始化过程开始于多个UWB信标862a-e,每个UWB信标862a-e包括围绕可修剪空间870(图4A)放置的UWB收发器。UWB收发器各自具有包括在来自UWB收发器的传输中的唯一标识符,以识别传输源。另外,机器人草坪修剪机860包括UWB收发器,其允许机器人草坪修剪机860与UWB信标862a-e中的UWB收发器通信。放置在可修剪空间870周围的UWB信标862a-e在放置在可修剪空间870周围时通常是不可移动的,并且旨在保持不动。UWB信标可以定位在可修剪空间870内、可修剪空间870外和/或在两者之间的界限上。另外,由于UWB信标862a-e中的UWB收发器产生的信号的全向性质,机器人可以在启动时放置在边界内或外。

[0044] 初始化过程包括收集/获得关于位于可修剪空间周围的UWB信标之间的距离的信息(步骤850)。更具体地,一个UWB收发器(例如,位于机器人860上或坞站上的收发器)向每个其它UWB收发器发送关于其自身与每个其它UWB收发器之间的距离的信息的请求。该信息可以包括飞行时间信息或可以用于确定距离的其它数据。例如,在图4A-4D所示的示例中,在接收到来自机器人860上的UWB收发器的请求时,UWB信标862a中的UWB收发器向UWB信标862b,862c,862d和862e中的UWB收发器发送信号。作为响应,信标862a中的UWB收发器从UWB信标862b,862c,862d和862e中的UWB收发器接收飞行时间信息和用于所述UWB收发器的相关联的唯一标识符(图4A)。类似地,在接收到来自机器人860上的UWB收发器的请求时,信标862b中的UWB收发器向UWB信标862a,862c,862d和862e中的UWB收发器发送信号。作为响应,信标862b中的UWB收发器从UWB信标862a,862c,862d和862e中的UWB收发器接收飞行时间信

息和用于所述UWB收发器的相关联的唯一标识符(图4B)。对信标862c,862d和862e进行类似的信息收集(图4C)。该信息从各个UWB收发器发送到发出信息请求的UWB收发器(例如位于机器人860上或坞站上的收发器)。

[0045] 在接收到关于每个UWB信标中的UWB发射器之间的相对距离的信息后,机器人草坪修剪机10中的处理器(或远程定位的处理器)使用多维定标算法来确定UWB信标(852)的相对位置(例如相对于诸如坞站位置的全局原点的x-y位置)(图4D)。通常,多维定标(MDS)是可视化数据集的各个情况的相似性水平的方法。它涉及在信息可视化中使用的相关的排列技术组,特别是显示包括在距离矩阵中的信息。MDS算法目的是将每个对象放置在N维空间中,使得对象之间的距离被尽可能保持。然后为每个对象分配N维的每一个中的坐标。使用MDS算法确定的UWB信标(例如信标862a,862b,862c,862d和862e)的相对位置存储在存储器中。

[0046] 在一些示例中,多维定标(MDS)算法的使用可以生成作为实际信标布局的镜像的信标地图。如果在导航期间使用实际信标布局的镜像,这将导致当试图面向空间中的另一点时,机器人不会沿预期方向上转向。为了测试镜像布局,在取向确定序列中移动自主草坪修剪机器人860(步骤854)。然后,系统确定UWB信标位置是否被成镜像(步骤856),如果是,则将航向重新分配给UWB信标位置以校正取向(步骤858)。更具体地,在执行初始信标建立和定位之后,机器人存储其初始点并且向前驱动短的距离(例如15-30cm)到第二点。如果信标地图被确定为实际信标布局的镜像,则该向前驱动建立用于重新分配信标位置的y轴。然后,机器人向左转大约90度,并且向前驱动另一短距离(例如15-30cm),如图4E中的路径872所示。然后,处理器计算将初始点连接到第二点的向量与将第二点连接到第三点的向量之间的方位差。如果信标位置正确,此值将接近90度。如果信标位置被成镜像,则该值将接近负90度,并且机器人将在y轴上重新分配/重新解读(例如翻转)信标坐标,从而适当地确定其姿态。在机器人向右转向的情况下,可以使用类似的过程。

[0047] 在确定并存储了UWB信标位置之后,系统通过基于从每个UWB收发器接收到的飞行时间信息(间距)的三边测量来定位自主草坪修剪机器人860(图4F)。通常,三边测量是使用圆、球或三角形的几何形状,通过测量距离来确定点的绝对或相对位置的过程。特别地,传感器的位置可以通过测量到至少三个地标的间距、绘制围绕每个地标的相应半径的圆并且确定这些间距圆相交的点来确定。在完美感测情况下,所有的圆将在一个点处相交,并且可以使用闭合形式的解来确定该位置。然而,所有传感器都具有一些噪声,因此这些圆不可能在一个点处相交,并且需要一些手段来基于间距圆之间的多个交点来估计传感器位置。

[0048] 在一个示例中,可以使用最小二乘法算法来使感测间距和位置估计之间的方差和最小化。

[0049] 在另一示例中,如图5所示,可以使用这里称为最小距离交叉点集合三边测量法(MIST)的技术来确定机器人的位置。MIST是基于来自自己知位置处的固定信标集合的噪声间距数据来估计传感器的位置的技术。与其它三边测量技术一样,MIST使用对应于间距读数的圆之间的交点来确定传感器的位置。

[0050] 使用MIST技术,飞行时间测量值用于确定围绕每个信标的可能位置的圆,其中圆的半径基于UWB信标中的UWB收发器与机器人中的UWB收发器之间的距离。对于每对间距圆,可以有零个、一个或两个交点。

[0051] MIST通过检查所有可行的交点的集合并选择具有点之间的最小总距离的集合来工作。可行集合包括每对间距圆的候选点。每对圆有三种可能的情况。

[0052] 如图5A所示,在一种情况下,圆不相交。在这种情况下,候选点设置为连接两个间距圆上的最近点的线中的中点。

[0053] 如图5B所示,在另一情况下,圆在一个点相交。在这种情况下,候选点设置为该单一的交点。

[0054] 如图5C和5D所示,在另一情况下,圆在两个点处相交。在这种情况下,候选点设置为该两个交点中的一个。由于每对间距圆可以产生多达两个候选点,所以该算法的计算复杂度对于信标数量成指数关系。然而,如果信标的数量小,则算法保持计算易处理。在选择具有最小总点间距离的可行相交点集合(例如3个位置、5个位置)之后,MIST估计传感器位置为该集合内的候选点的质心。例如,如图5D所示,小圆标记候选点(例如圆对的对相交位置)。实心圆是具有最小总点间距离的可行集合中的候选点。空心圆是不在该集合中的候选点。十字标记最小距离相交点集合中的点的质心并且对应于传感器的估计位置。

[0055] 在一些示例中,一个或多个UWB信标可以处于隔离位置,因此相对于其它UWB信标定位UWB信标是有挑战的。例如,一个信标可以放置在侧院中,侧院中房子禁止与一些其它UWB信标的通信。这样,该信标的初始确定的位置可能具有较低的置信度,因为位置确定是基于该隔离的信标和仅位于院子周围的其它信标的子集之间的通信。如果计算的置信度值低于阈值置信度值,则系统可以请求用户移动草坪修剪机(其自身包括UWB收发器)到修剪机可以与隔离的信标和多个其它信标两者通信的位置。然后,系统可以使用机器人上的UWB收发器来帮助定位隔离的UWB信标(例如使用与上述类似的过程)。一旦已经确定了隔离的UWB信标的修订位置,则可以移动自主机器人,并且可以存储隔离的信标相对于其它信标的位置。

[0056] 参考图6A,在设置UWB信标之后,人类操作者将使机器人关于草坪20行走。在该教导模式期间,由于例如颠簸的地形或障碍物阻挡机器人草坪修剪机10的路径,人类操作者可能在关于周边21手动地导航机器人草坪修剪机10时经历困难。在一些情况下,为了避免机器人草坪修剪机10处于不可教导的状态和/或为了围绕具有挑战性的障碍物或急转弯导航机器人草坪修剪机10,用户可以生成不平滑的路径。例如,用户可以执行锯齿形或之字形移动,以便在机器人草坪修剪机10的引导期间关于周边21导航。因此,初始建立的草坪轮廓(例如由机器人通过的实际教导路径23)在某些位置不与可修剪区域的边缘对应。

[0057] 为了建立可修剪区域的边界,算法将选择在教导模式期间由机器人草坪修剪机10导航的位置。一旦确定粗糙的草坪边界,算法将对初始边界数据(或在所收集的数据的子集上)执行边缘选择和平滑功能。边缘选择功能找到可修剪区域的最外边缘,使待修剪的区域最大化,并且与平滑功能组合,得到机器人草坪修剪机10在教导模式之后可自动导航的连续边界。用于确定和平滑可修剪空间的边界的该过程可以与各种基于信标的定位系统一起使用,在该定位系统中测量从移动资产(机器人)到信标的距离。这样的技术包括但不限于飞行时间(TOF)、到达的时间距离(TDOA)或基于信号强度的系统。

[0058] 在教导模式期间,用户将尝试围绕草坪20的周边21(由实线边界线示出)导航机器人,但是实际上沿着实际教导路径23(由虚线边界线示出)导航机器人,实际教导路径23可能不平滑,并且可以包括不规则形状。在教导模式期间,机器人草坪修剪机10将通过数据处

理单元相对于信标810一直确定和存储其位置。该数据处理单元可以是安装在机器人草坪修剪机上的控制器150(参见图1B),或者可以是单独的数据处理单元。数据处理单元生成基元的2D网格或矩阵25以表示草坪,并且当机器人草坪修剪机10确定其相对于信标810的位置时,在机器人草坪修剪机10运动期间,数据处理单元确定并保存包括机器人草坪修剪机10的每个基元的坐标。网格25中的每个基元可以具有三个可能的修剪区域值中的一个,三个可能的修剪区域值指示该基元是否被理解为在周边21之外或不可修剪、在周边21内或可修剪,或者在区域周边21边界上。在图6A中,示出了代表性的不可修剪基元25A、可修剪基元25B和边界基元25C。网格25的每个基元可以基于所选择的原点或参考位置(0,0)基元被分配(x,y)坐标。每个基元可以表示为正方形区域,其中每个基元具有预定的长度和宽度(例如在5-20cm范围内、在8-12cm范围内、约10cm)。例如,网格25可以是每个10cm×10cm的基元网格。机器人草坪修剪机10存储机器人草坪修剪机沿着在教导模式期间行进的实际教导路径23通过的每个基元的(x,y)坐标。机器人草坪修剪机10可以将实际教导路径23标记为如图6A所示的跟随机器人10的路径的通过单个单元的简单线。可替代地,机器人可以将机器人的印迹下的所有基元标记为边界基元25C。

[0059] 在教导开始时,所有基元的值都初始化为不可修剪。操作者按下启动按钮以开始教导过程,然后围绕修剪区域的周边21驱动。当机器人驱动时,沿着其实际教导路径23的所有基元的值被设置为边界,基元的位置由到信标810的距离确定。在行走周边之后,操作者按下按钮以结束教导过程。然后,操作者将机器人草坪修剪机10定位在草坪20的可修剪区域内的任何地方,例如在位置P处,并且按下按钮,向机器人草坪修剪机10指示其在周边内。作为响应,系统执行泛洪填充以设置由边界基元25C限定的周边21内的所有基元的值,以将它们标记为与待修剪的区域相对应的可修剪单元25B。

[0060] 如图6B和6C所示,也可以使用与用于教导边界的方法类似的方法来训练禁止区域。例如,为了创建围绕树的禁止区域,用户可以移动机器人到树的边界上的点;将机器人置于教导模式;围绕树推动机器人;然后将机器人退出教导模式。机器人通过的所有基元将被标记为边界基元(例如,如图6C中的粗线所示),并且该闭合边界内的区域将保持不可修剪(例如实心区域),并且草坪的周边内和闭合边界外的区域将保持可修剪(例如,如图6C中的阴影区域所示)。

[0061] 图6E示出了周边21的一部分的特写,其包括在教导模式期间由人类操作者和机器人草坪修剪机10导航的实际教导路径23的一部分。实际教导路径23包括非平滑特征,例如锯齿28,其产生于人类操作者例如使机器人草坪修剪机10转向然后通过向后推动机器人草坪修剪机10而部分地重新跟随路径的情况。不可修剪基元25A、可修剪基元25B和边界基元25C分别以阴影、白色和灰色示出。

[0062] 图6F示出在执行边界平滑功能之后的网格地图,其中控制器150通过将不与可修剪基元和不可修剪基元二者都相邻的任何边界基元重新标记为可修剪来选择初始边界基元块的子集。

[0063] 一些附加示例中,系统可以将一些先前的边界基元25C重新标记为可修剪单元25B,以便确定当机器人草坪修剪机10在以后自主地行驶通过草坪20时机器人草坪修剪机10所要遵循的路径的最外边缘。在边缘选择功能中,控制器150选择所有的边界基元25C,并计算每个边界基元25C与原点(0,0)基元之间的距离。例如,原点基元可以是图6A所示的内

部位置基元P。控制器可以在给定每个边界基元25C确定的已知(x,y)坐标的情况下计算该距离。

[0064] 控制器比较每个边界基元25C的距离,以选择距离原点P最远的边界基元25C,并确定代表最外的边界基元25C的基元的单基元线。控制器150检查与标记为边界的每个基元相邻的每个基元的修剪面积值。然后检查与多于一个其它边界基元25C处于相邻位置的任何边界基元25C,以确定哪个基元25C离原点P最远,并且因此确定哪个基元25C是待修剪的最外限制。为了从周边数据集合中去除内部边界基元25C数据点,对于表示多个空间相邻位置的周边数据的子集,控制器150仅选择在空间上离参考点或原点P最远的那些基元。因此,在彼此连续的基元的分组中,控制器仅选择最外(例如最远离)的基元。在图6F中,先前具有边界-边界界限的内部基元已被重新标记为可修剪。

[0065] 在一些另外的示例中,系统可以识别在连续的边界基元中的间隙或中断。控制器150可以通过搜索与任何其它边界基元不相邻或与其成拐角的边界基元来搜索这样的不连续性。然后,控制器150可以选择与不连续的边界基元相邻的可修剪基元。在一个实施方式中,控制器150可以在不连续的边界基元的x,y值之间内插,并将位于不连续基元之间的线上的所有基元重新分配为边界基元。在一些实施方式中,控制器150可以改变对应于限定小于135度的内角的周边路径段的所存储的周边数据集合的一部分,以限定平滑边界。例如,内角可以小于90度或小于45度。

[0066] 再次参考图6A,可以使用类似的过程来限定被包围在草坪中的不准备修剪的内部区域的内部边界29。在所示示例中,内部边界29将池塘划界。在跟随实际教导路径23之后,用户沿着内部边界29导航机器人草坪修剪机10,然后将机器人草坪修剪机定位在诸如位置P的最终位置。这表明机器人草坪修剪机10位于可修剪区域上。控制器150然后将内部边界29内的区域指定为不可修剪,并且将实际教导路径23外部也指定为不可修剪。参考图7,用于对机器人草坪修剪机10教导草坪内的区域的方法1000允许机器人以后自主地修剪草坪20。该方法在机器人草坪修剪机10进入边界确定模式时开始(步骤1001)。机器人草坪修剪机10首先通过检查手柄116是否被附接来监测是否可以使用教导模式(步骤1002)。如果机器人确定手柄116未被附接,则机器人将提示用户附接手柄116(例如通过在操作者反馈单元上发出哔哔声或闪光)。一旦机器人草坪修剪机已经确定手柄116被附接,发射器就以UWB校准序列(如上面关于图2B所述)与信标通信(步骤1008)。机器人草坪修剪机然后确定其相对于信标和坞站的初始位置,并且初始化围绕其初始位置的基元的虚拟2D网格以表示草坪20(步骤1010)。例如,机器人草坪修剪机10可以确定到最远信标810的距离,并且构建以初始位置为中心并且在所有边上延伸到最远信标的距离的网格。

[0067] 此时,机器人草坪修剪机准备就绪由操作者开始可教导模式的运动。机器人草坪修剪机提示操作者围绕草坪的周边推动机器人草坪修剪机(步骤1012)。当机器人草坪修剪机被操作者推动时,控制器与信标通信并收集位置数据(步骤1014)。例如,机器人可以从每个UWB信标收集飞行时间数据,并使用该数据(例如通过三角测量)来确定位置。在该运动期间对应于机器人的检测位置的2D网格的每个基元被设置为将基元标记为边界基元的值(步骤1016)。机器人草坪修剪机连续地检查是否其已经接收到指示完成的操作者输入,或者是否已经过去大于存储的阈值时间的非移动时间的长度(步骤1018)。如果不是,则机器人草坪修剪机继续收集位置数据并将与那些位置相对应的基元标记为边界基元。

[0068] 接下来,操作者可以可选地通过围绕这些区域的内部边界推动修剪机来围绕任何内部区域定义禁止区域。一旦在步骤1018机器人确定周边的地图描绘完成,则机器人草坪修剪机提示操作者将机器人草坪修剪机10移动到草坪的可修剪的内部区域(即待修剪的空间,步骤1020),然后确定并保存该初始内部位置的位置。然后,控制器识别不与可修剪基元和不可修剪基元两者都相邻的所有边界基元,并且重新标记与可修剪或另一边界基元相邻且不与不可修剪基元相邻的边界基元为可修剪基元(步骤1022),以计算最终的平滑边界。因此,在多个相邻基元最初被识别为边界的情况下,系统仅保留最外的基元作为边界基元(例如接触不可修剪空间的基元),并将其它单元重新标记为可修剪。例如,重新标记过程选择仅与可修剪基元和边界基元相邻的基元,并将那些基元重新标记为可修剪。控制器然后使用填充功能来将计算的平滑边界内的所有位置分配为内部/可修剪区域(步骤1024)。

[0069] 在另一示例中,一旦机器人确定周边的地图描绘完成,并且确定并保存该初始内部位置的位置,则控制器选择地图中的边界基元的最外位置,并对所选择的基元执行边缘选择和平滑操作以计算最终的平滑边界。控制器然后使用填充功能来将计算的平滑边界内的所有位置分配为内部/可修剪区域。

[0070] 参考图8,示出了用于确定围绕不要被修剪的内部区域的边界的方法2000(例如,图6A中的边界29)。机器人草坪修剪机10进入边界确定模式(步骤2001)。机器人首先检查外部周边边界的计算是否完成(步骤2002),并且如果不是,则指示操作者完成如上所述的周边确定(步骤2004)。机器人然后确定是否已经定义了所有禁止区(例如不应该修剪的草坪的限定周边内的区域,如花坛、秋千组、池塘等)(步骤2003)。机器人可以通过生成指示区域是否已经被定义以及从用户接收指示其完成/未完成的响应的提示,来确定是否已经定义了所有禁止区域。如果已经定义了所有禁止区域,则系统进行平滑禁止区域的边界(步骤2014)。如果没有定义所有禁止区域,则如果需要的话,机器人提示操作者围绕任何内部边界的边缘推动机器人草坪修剪机(步骤2006)。当用户推动机器人草坪修剪机时,控制器与信标或边界标记通信或以其它方式监测信标或边界标记的位置,并且收集位置数据(步骤2008)。在该例程期间,对应于机器人的位置的2D网格的每个基元的值被设置为边界(步骤2010)。机器人连续地检查是否其已经接收到指示完成的操作者输入,或者是否已经过去了大于存储的阈值时间的非移动时间的长度(步骤2012)。如果不是,则机器人草坪修剪机继续收集位置数据并将对应于机器人草坪修剪机的位置的网格25的基元标记为边界基元。

[0071] 机器人草坪修剪机然后提示操作者移动到外部周边界限内并且不在任何(可选的)禁止区域内部的草坪的可修剪区域(步骤2014),并且记录在可修剪空间中的机器人的姿态(步骤2016)。然后,系统使用泛洪填充将边界内的所有基元设置为不可修剪(例如在禁止区域内的所有基元)(步骤2018)。最后,系统重新标记与可修剪基元邻近且不与可修剪基元和不可修剪基元(禁止区域)二者都邻接的禁止周边的边界基元为可修剪(步骤2020)。

[0072] 在一些附加示例中,系统可以在单个过程中对于包括禁止区域的内部边界和的外部周边的整个网格地图执行上述平滑操作。在这样的示例中,系统使用泛洪填充来填充由可修剪空间中的机器人姿态指示的所有区域。该泛洪填充将在草坪的外部周边内并且在定义的禁止区外部的所有网格位置设置为可修剪。然后,系统对草坪的周边和禁止区的周边执行平滑算法。例如,系统可以将不与可修剪和不可修剪二者都相邻的所有边界基元设置为可修剪,使得生成边界,其中每个边界基元与可修剪和不可修剪空间二者都接触。

[0073] 参考图9A和9B,在机器人草坪修剪机10已经完成教导模式之后,自主地导航草坪20准备就绪。在自主操作期间机器人草坪修剪机10的控制包括允许机器人草坪修剪机10在所确定的边界勾勒的区域内通过草坪20。驱动系统的操作可以包括当机器人草坪修剪机10接近边界时启动的减速模式,以帮助防止机器人草坪修剪机10意外滚过边界。另外,当机器人草坪修剪机10接近边界标记805时,也可以实施减速模式。参考图9A,为了实施操作的减速安全模式,机器人控制器确定与先前确定的最终平滑外边界27等距并且在其内的“近边界”31。使用网格地图和最终平滑边界27,控制器150选择接近边界基元的基元。例如,控制器150可以选择与边界基元相邻的所有可修剪基元,并且将接近并接触边界的所选择的基元重新标记为近边界基元。控制器可以选择与近边界基元相邻的所有可修剪单元,并将新选择的基元重新标记为近边界。该过程可以在直到先前标记为可修剪的所有在边界的固定距离内的基元被重新标记为近边界时完成。例如,位于边界27的0.35m(2英尺)内的所有可修剪单元可以被标记为近边界基元或警告区的一部分。剩余的内部基元在安全区中并且保持标记为可修剪基元。该有效地标记的网格基元限定近边界线31,在距离实际外边界27的所有或几乎所有点处都是等距离的。近边界线31也可以被平滑,如上面关于实际边界线所述。创建近边界或警告区的类似方法也可以用于内部边界。

[0074] 机器人草坪修剪机行驶通过草坪时的自主控制的方法在图9B中示出。在方法3000中,机器人草坪修剪机连续收集其位置数据并且构建如上所述的标记的网格基元的虚拟地图(步骤3002和3004)。如果机器人确定其位于可修剪或安全基元中,则机器人草坪修剪机继续以其当前速度(步骤3006)和航向(步骤3008)向前驱动。当机器人处于该安全区中时,它以完全自主速度(0.5m/s)驱动。在步骤3010中,如果机器人草坪修剪机10确定其在指示警告区的近边界基元中,则其减速(例如到0.15m/s)。这两个速度可以由定位算法的更新速率和低水平电机控制的响应时间确定。在一些示例中,完全自主速度与近边界速度的比率可以在约5:1到约2:1范围内,例如约5:1,约4:1,约3:1,约2:1。当机器人到达边界基元时,它调整其路线以保持可在可修剪区域内。例如,机器人草坪修剪机10可以立即停止和退后(步骤3012)。机器人然后从可修剪区域中的可修剪基元选择随机目标点。目标选择为使得它距离最近的边界基元至少为最小距离,并且使得从机器人到目标的路径通过边界或不可修剪单元不超过指定次数。机器人然后转向以面向目标并且恢复向前运动。在一些优选实施方式中,恢复的运动以机器人草坪修剪机10沿着接近边界的路径(例如距离边界恒定的距离)继续。机器人草坪修剪机10可以遵循边界,直到完整的周边被修剪。机器人草坪修剪机10然后可以在可修剪区域内移动恒定距离并完成另一回路,继续缩小回路直到草坪20被修剪。可替代地,机器人可以修剪完整的周边,然后遵循一系列平行的相邻线,直到边界内的可修剪区域被完全通过。

[0075] 在另一实施例中,平滑机器人草坪修剪机的路径以便后来通过边界的方法可以使用上述教导模式暂停特征。例如,当用户在教导期间向后拉动机器人以重新定位机器人时,产生锯齿状路径(如图6E中的锯齿28)。如上所述,这可以将机器人草坪修剪机放置在不可教导的状态,其中教导模式自动暂停。当机器人草坪修剪机10检测到其再次向前移动(在阈值时间段内)时,恢复教导模式。

[0076] 图10描述了用于向机器人草坪修剪机教导草坪内的区域的周边的方法4000的实施方式,其使用该教导模式的暂停,允许机器人以后自主地修剪草坪。在实施方法4000之

前,机器人草坪修剪机10遵循类似于图7中描述的步骤,检查手柄116是否被附接,并且如果确定手柄116未被附接,则提示用户附接手柄116(例如通过在操作者反馈单元上发出哔哔声或闪光)。一旦机器人草坪修剪机已经确定手柄116被附接,发射器就与信标或边界标记通信,并且确定信标是否是UWB信标。如果是,则执行UWB校准序列(如上关于图2B所述)。

[0077] 此时,机器人草坪修剪机由此确定其相对于信标810和坞站12的初始位置,并且初始化围绕其初始位置的基元的虚拟2D网格,以表示草坪(步骤4010)。机器人草坪修剪机10准备就绪以由操作者开始可教导模式的运动,并且提示操作者围绕草坪20的周边21推动机器人草坪修剪机10(步骤4012)。当机器人草坪修剪机10被操作者推动时,控制器150与信标810通信并收集位置数据(步骤4014)。在该运动期间,对应于机器人的检测位置的2D网格的每个基元被设置为将它标记为边界基元的值(步骤4016)。机器人连续地检查它是否向前移动(步骤4017)。如果是,则机器人继续收集位置数据并且设置通过的每个基元为边界基元(步骤4014和4016)。如果不是,则机器人检查其是否已经接收到指示完成的操作者输入,或者是否已经过去大于存储的阈值时间的非移动时间的长度(步骤4018),并且再次检查机器人是否向前移动(步骤4017)。如果是,则机器人恢复收集位置数据。否则,机器人确定(步骤4018)操作者是否已经指示完成(或时间已经耗尽),在这种情况下,机器人草坪修剪机10确定周边21的地图描绘完成,并且提示操作者移动到草坪的可修剪、内部区域(即待修剪空间,步骤4020)。然后,控制器选择地图中的边界基元的最外的位置(步骤4022),并且对所选择的基元执行平滑操作(步骤4024)以计算最终的平滑边界。然后,控制器使用填充功能来将计算的边界内的所有位置分配为内部/可修剪区域(步骤4026)。

[0078] 在一些示例中,用可修剪、不可修剪和边界基元建立的网格可以附加地用于确定移动机器人应该在割草的时行进在何处。例如,在机器人的特定运行期间(或在多个不同运行上),系统可以记录关于机器人的覆盖类型状态的信息。例如,系统可以跟随在特定运行或经多个运行期间机器人已经访问基元(以修剪它)的时间量。例如,系统可以确定机器人的姿态并且识别网格上的相关联的位置。然后可以更新与该网格位置相关联的信息,以指示机器人已经修剪了该位置。然后,机器人可以识别在当前运行期间未被修剪的基元或在一系列过去的多轮修剪(例如在过去的3轮)中被不太频繁修剪的基元,并且在修剪其它区域之前修剪这些。这将有助于在移动到其它区域之前充分覆盖该区域。

[0079] 虽然已经关于UWB信标的使用讨论了上述至少一些示例,但是本文描述的方法可以用于具有其它基于信标的定位系统的系统中,其中测量从移动资产(机器人)到信标的距离。这样的技术包括但不限于飞行时间(TOF)、到达的时间距离(TDOA)或基于信号强度的系统。

[0080] 尽管本说明书包括许多细节,但是这些不应被解释为对本公开或所要求保护的范围的限制,而是被解释为对于本公开的特定实施方式特定的特征的描述。在本说明书中在单独实施方式的上下文中描述的某些特征也可以在单个实施方式中组合实施。相反,在单个实施方式的上下文中描述的各种特征也可以在多个实施方式中单独地或以任何合适的子组合来实施。此外,虽然特征可以在上面被描述为在某些组合中起作用并且甚至最初如此要求保护,但是来自所要求保护的组合的一个或多个特征在一些情况下可以从组合中删除,并且所要求保护的组合可以涉及子组合或子组合的变型。

[0081] 类似地,虽然在附图中以特定顺序描绘了操作,但是这不应被理解为要求这些操

作以所示的特定顺序或以顺序次序执行,或者所有所示的操作都被执行,以获得期望的结果。在某些情况下,多任务和并行处理可能是有利的。此外,上述实施例中的各种系统部件的分离不应被理解为在所有实施例中都需要这样的分离,并且应当理解,所描述的程序部件和系统通常可以一起集成在单个软件产品中或封装到多个软件产品中。

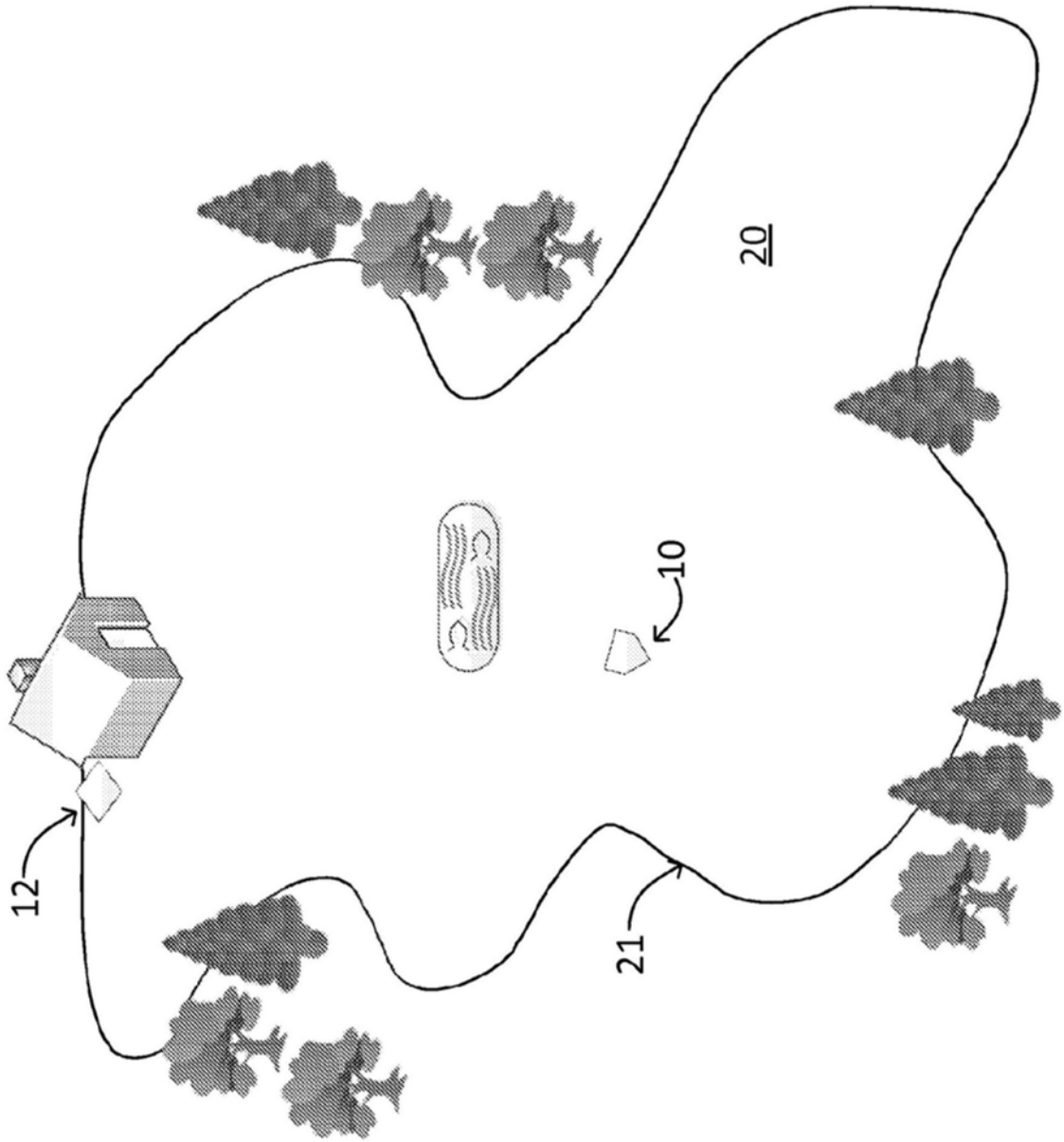


图1A

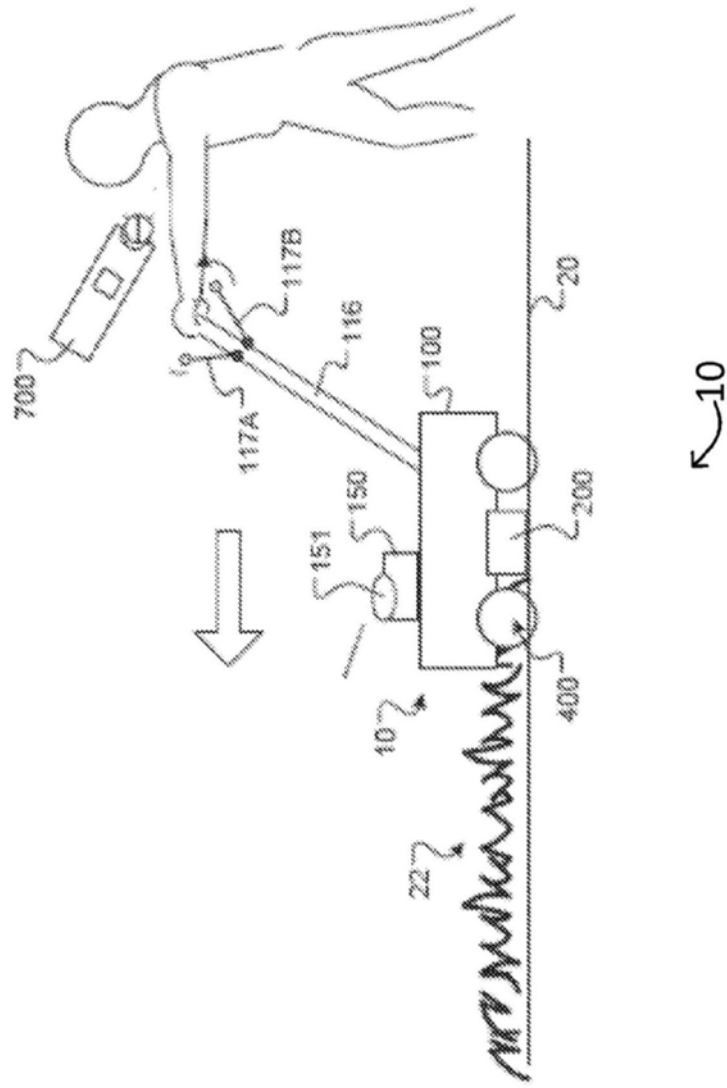


图1B

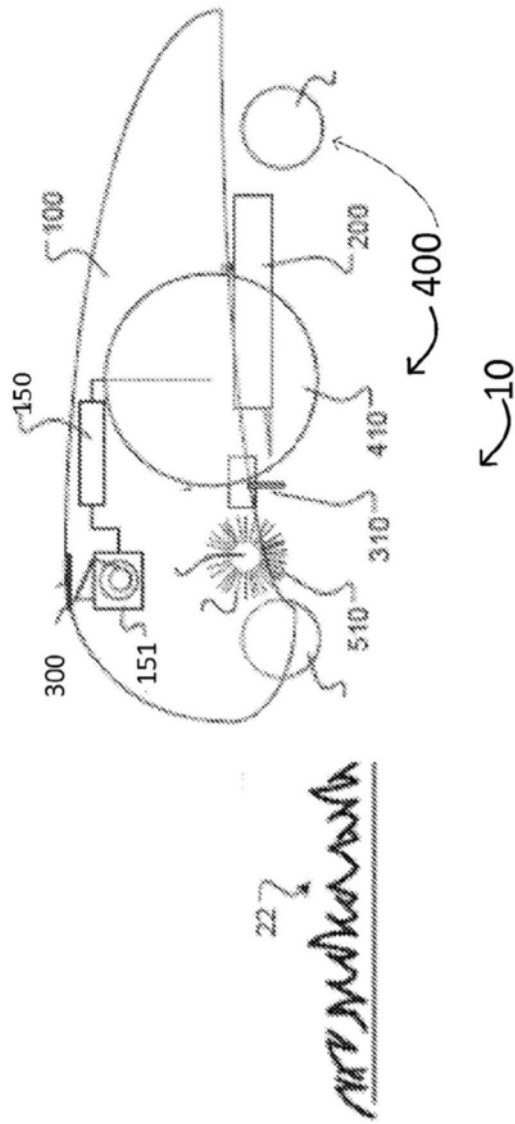


图1C

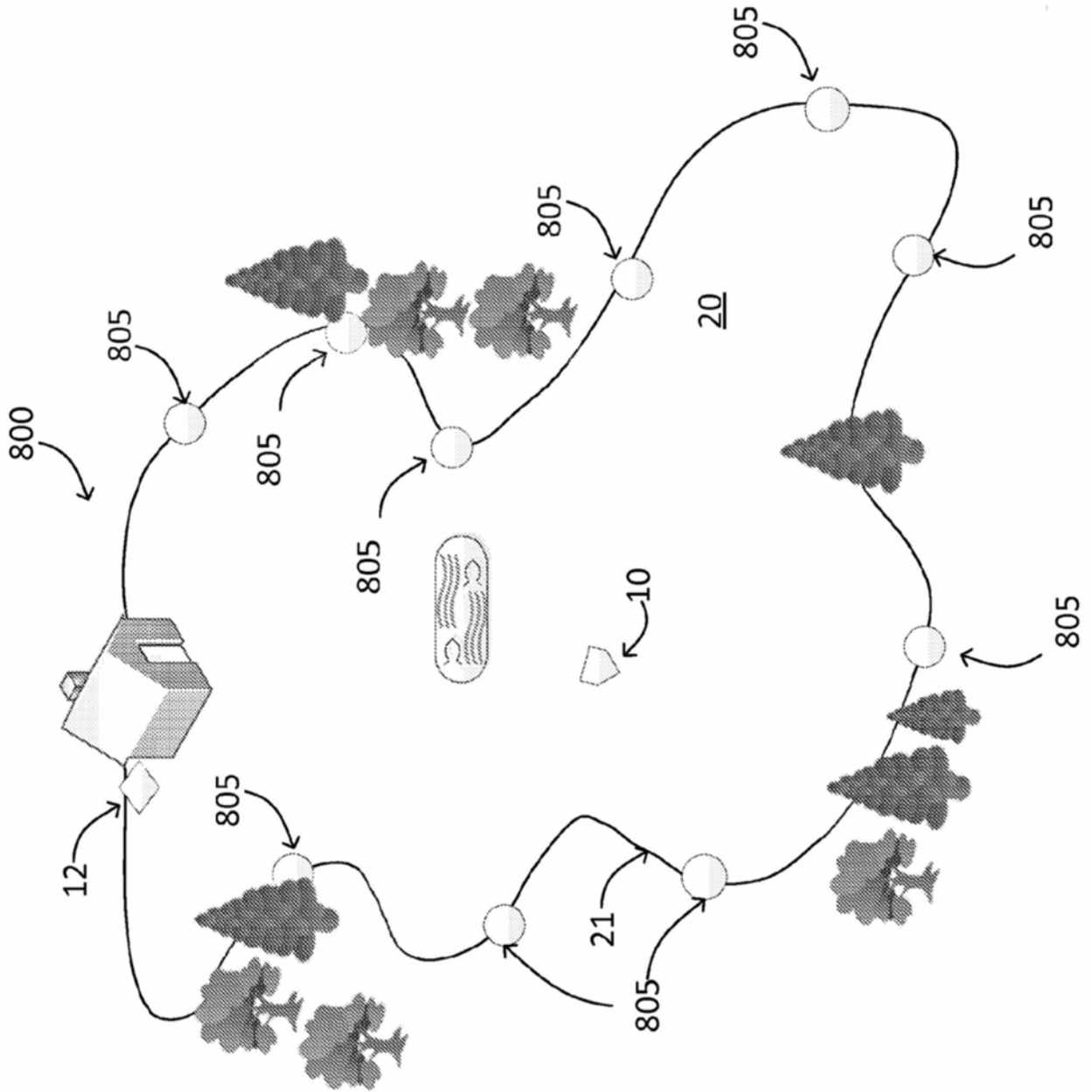


图2A

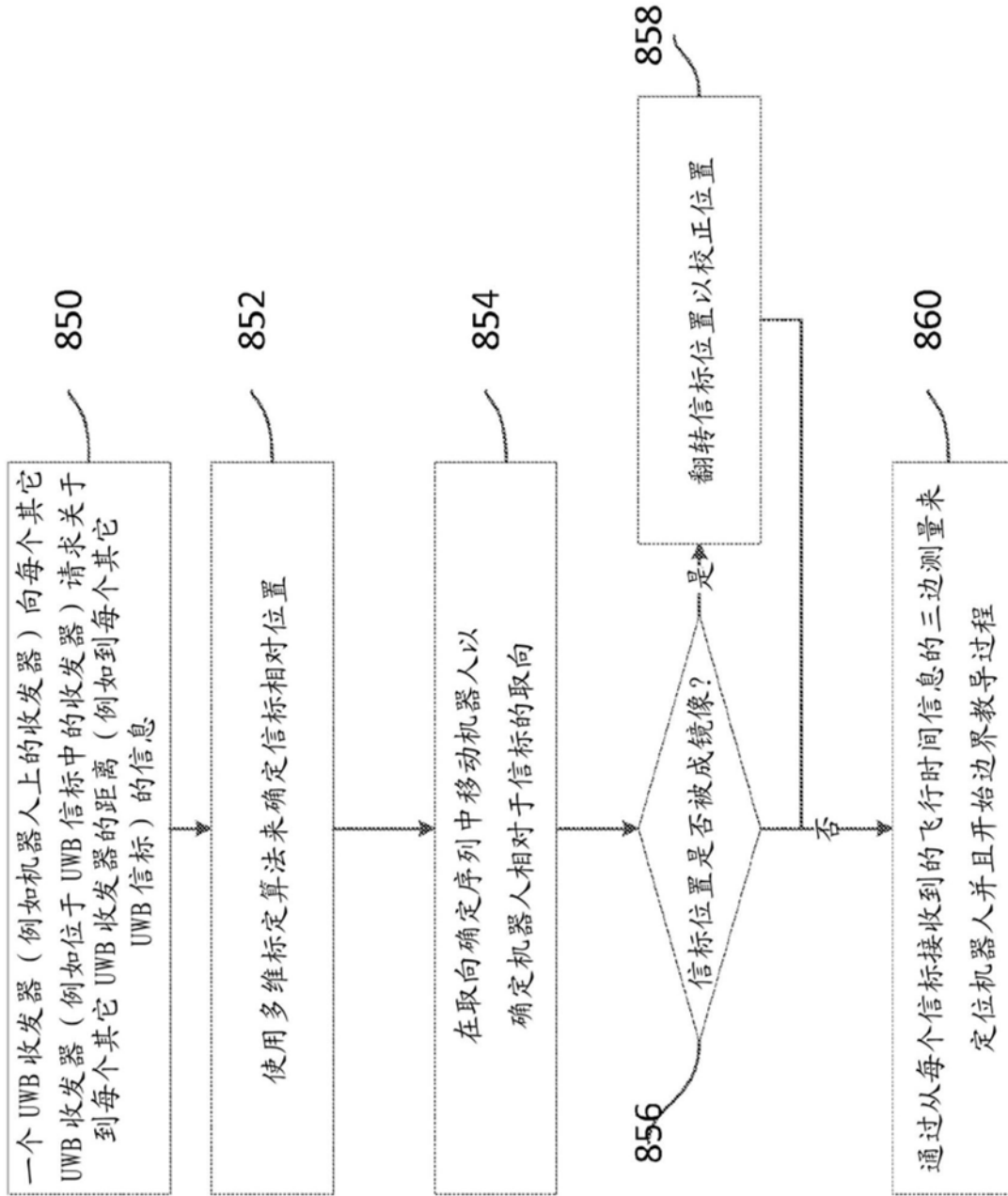


图3

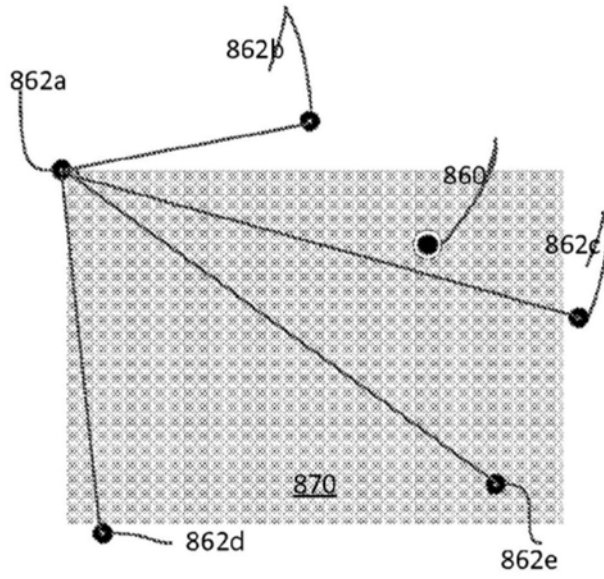


图4A

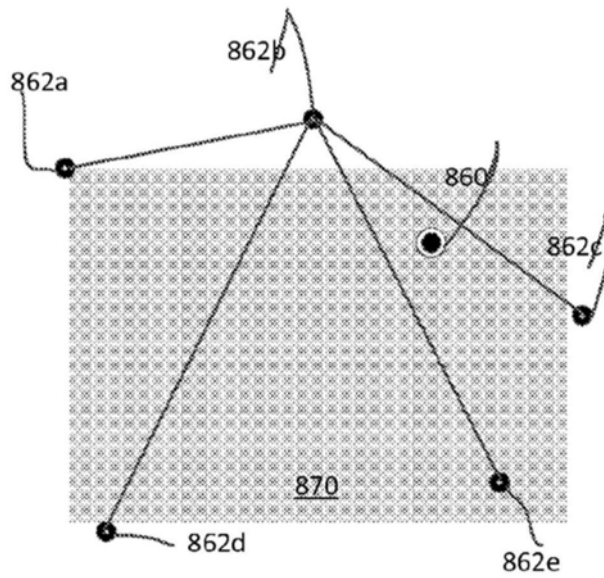


图4B

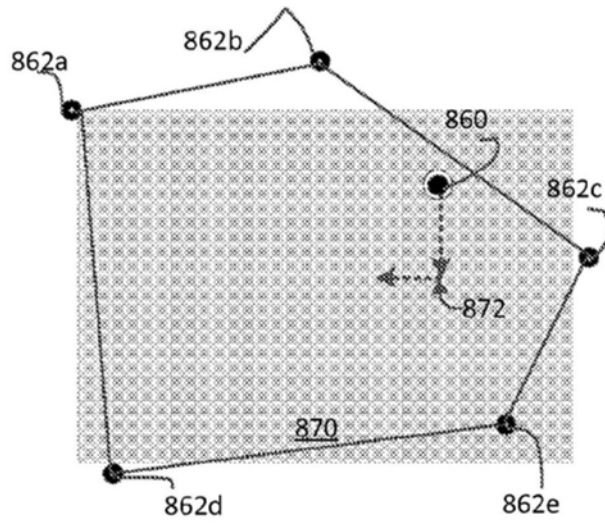


图4E

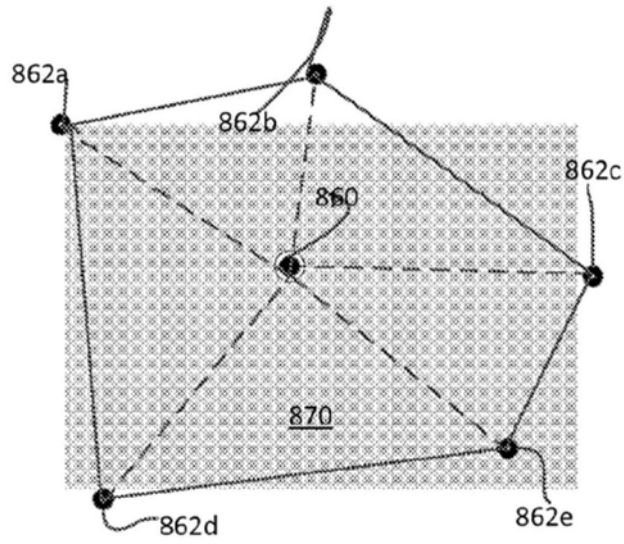


图4F

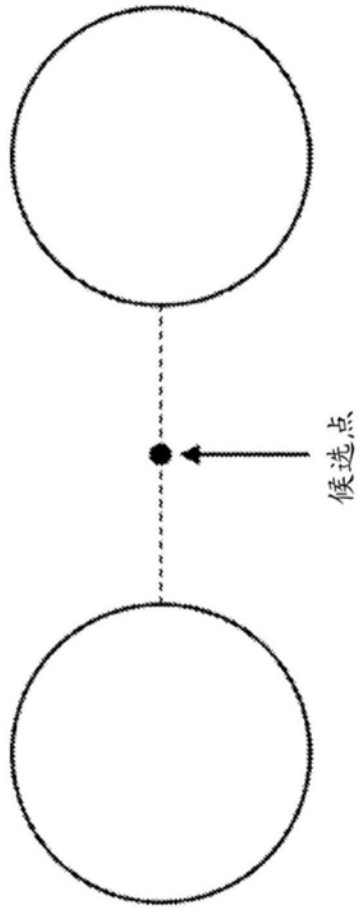


图5A

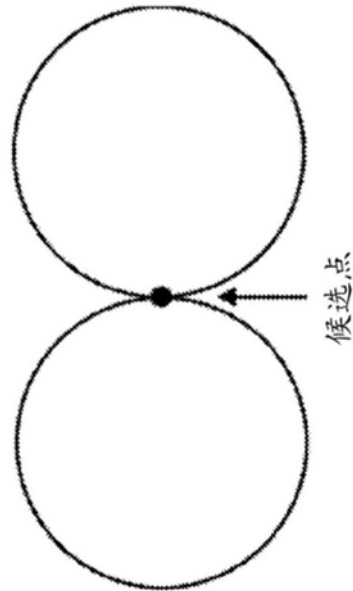


图5B

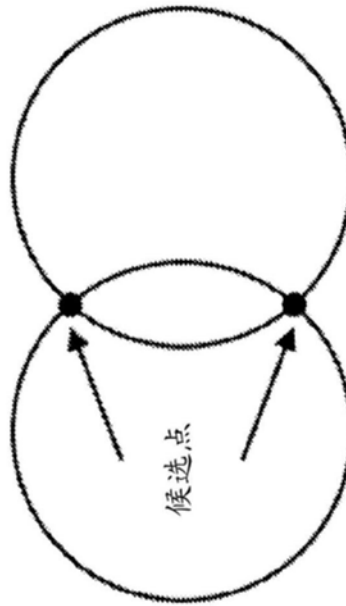


图5C

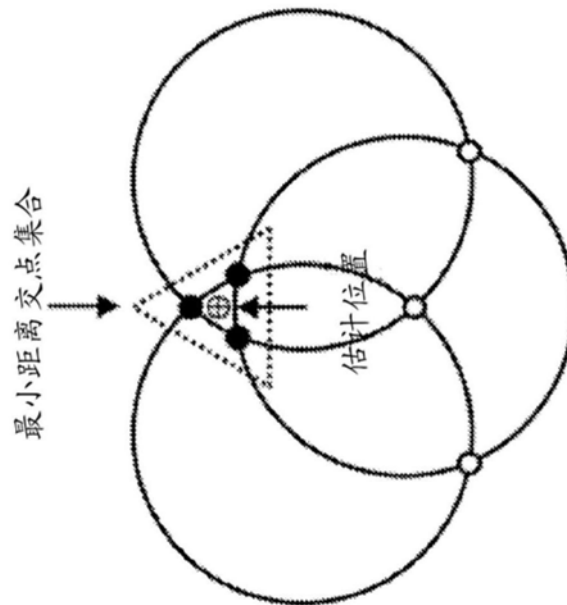


图5D

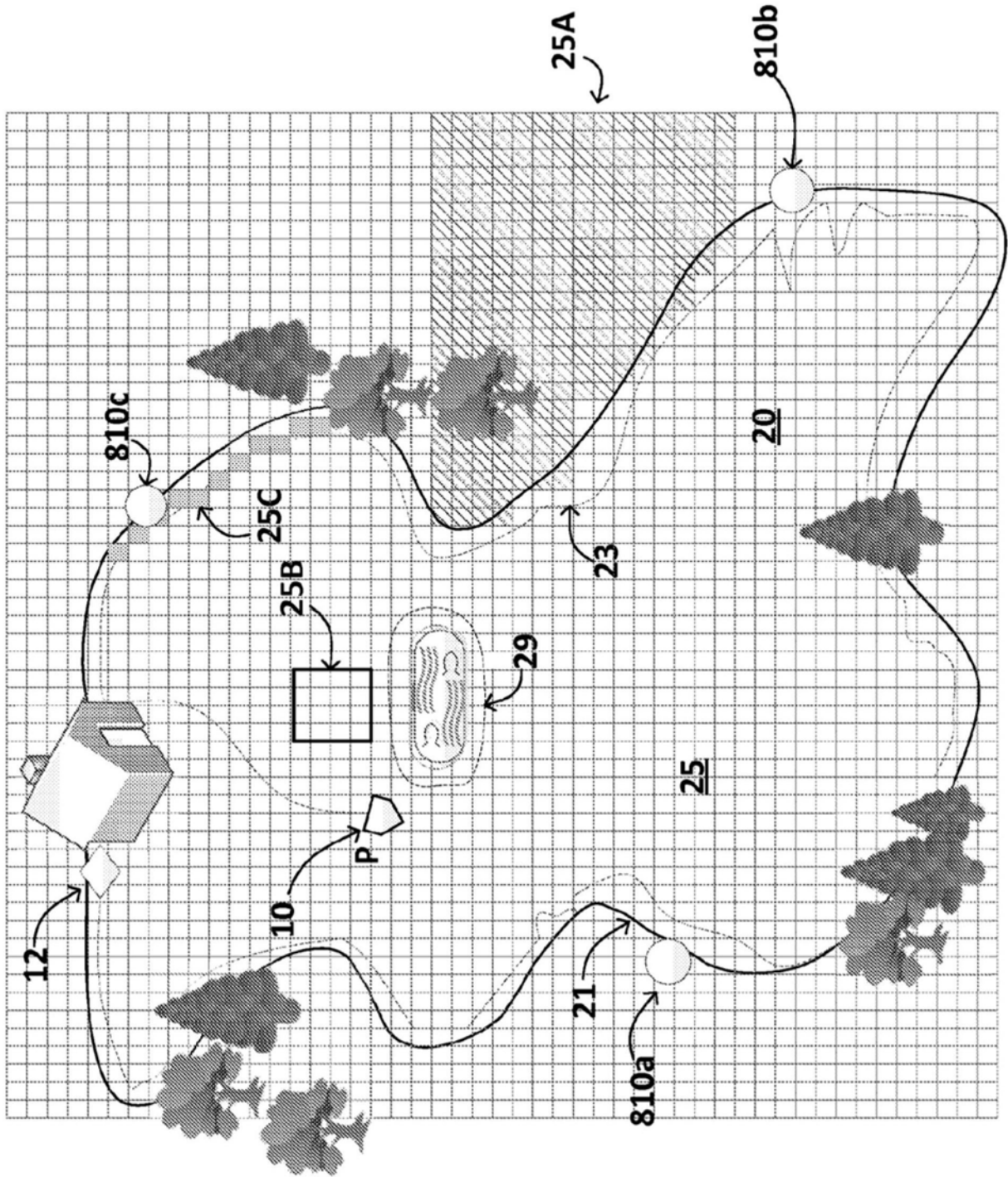


图6A

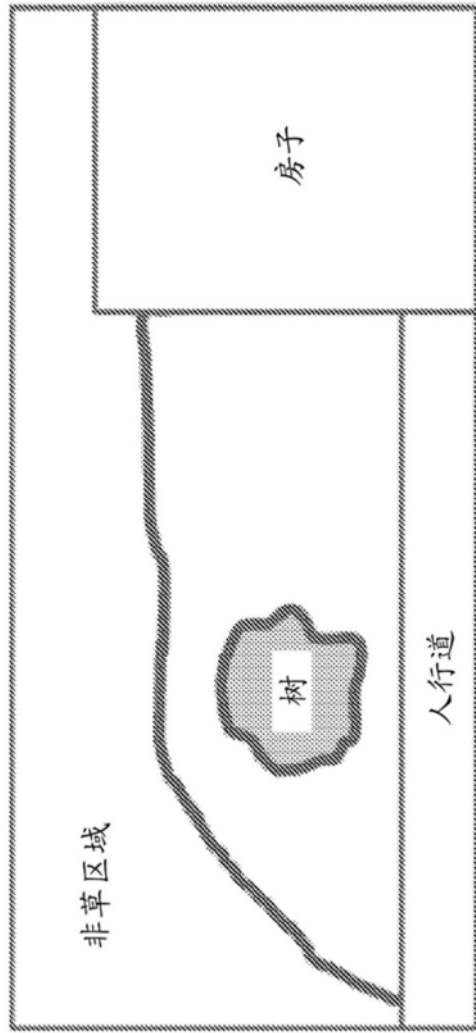


图6B

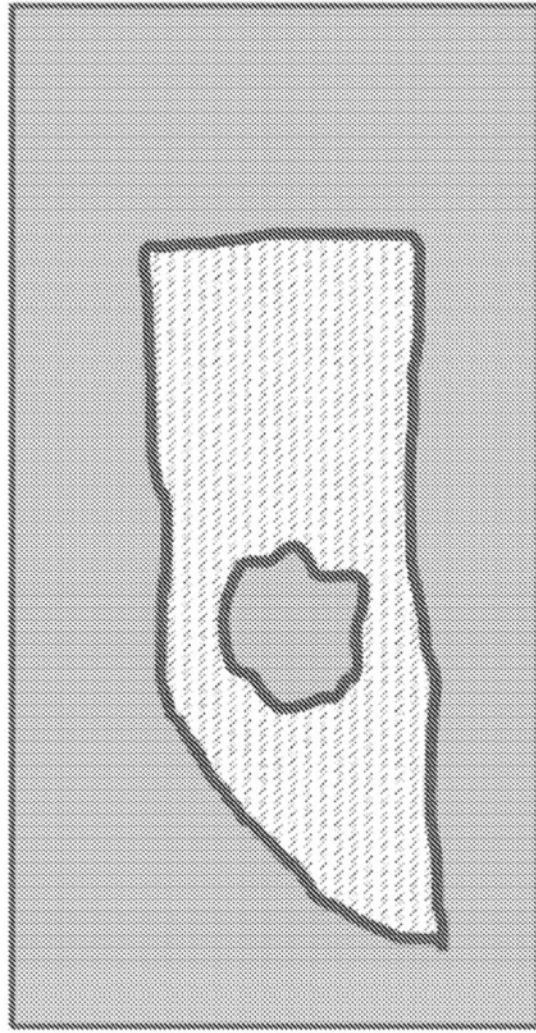


图6C

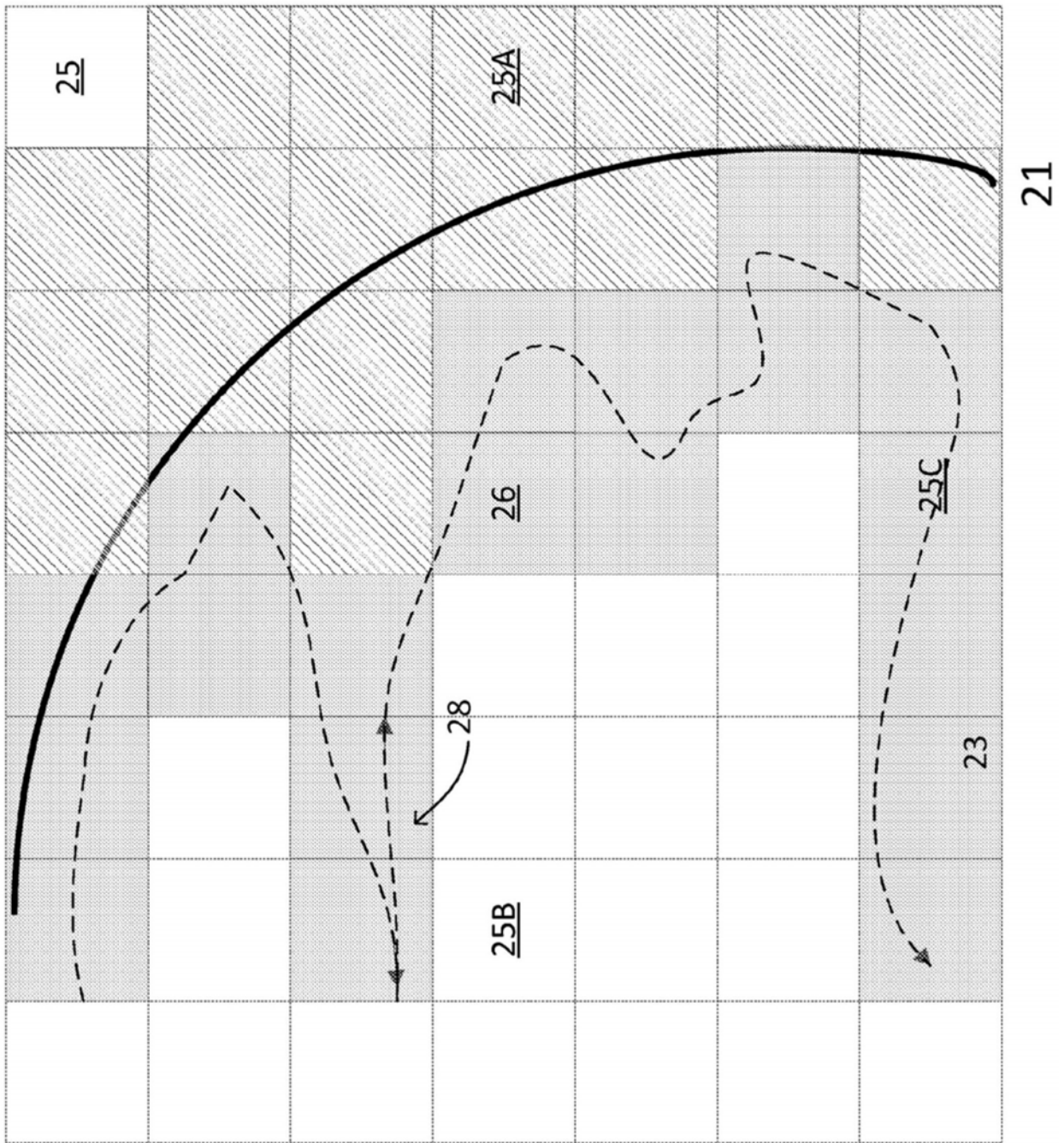


图6D

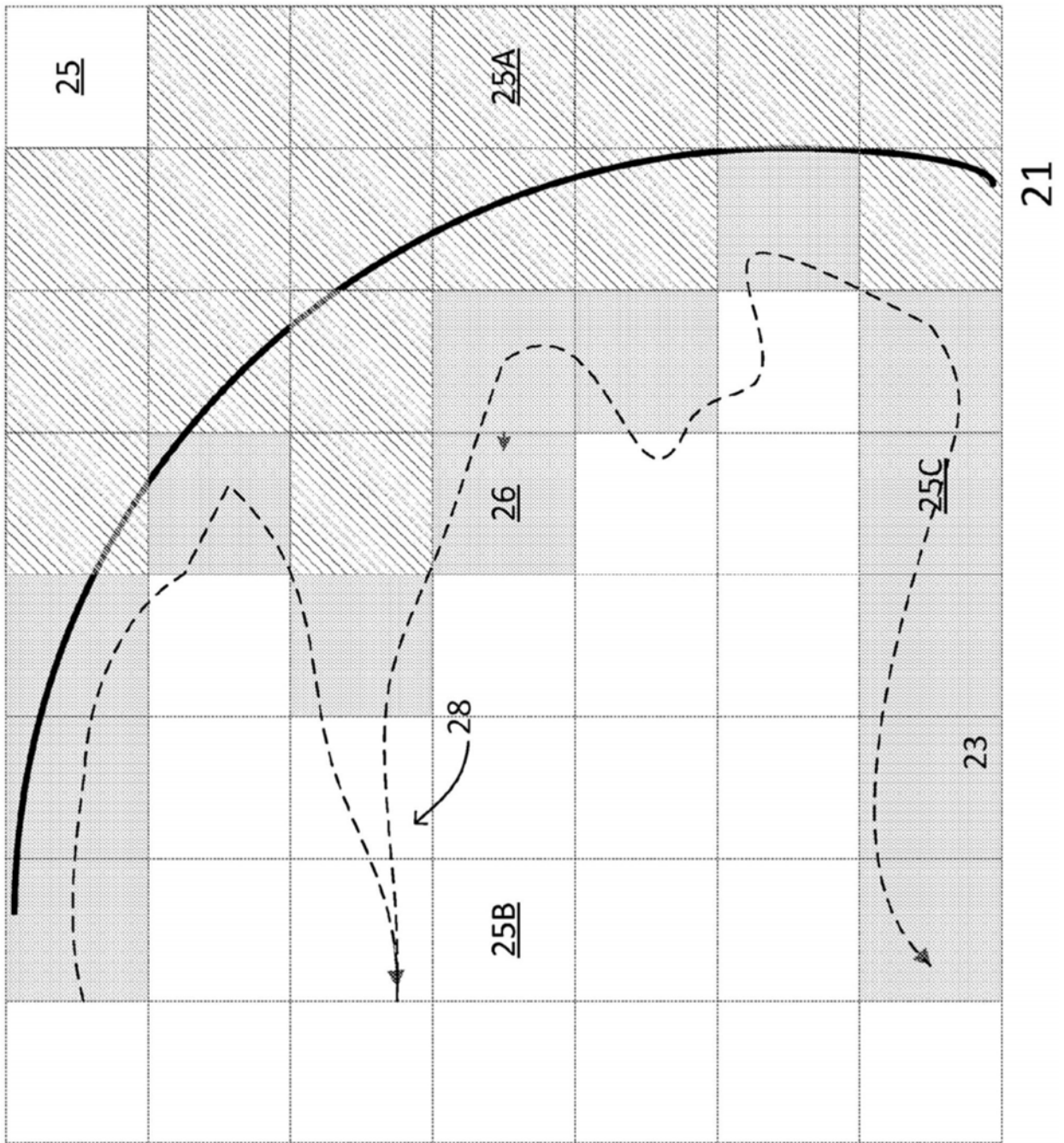


图6E

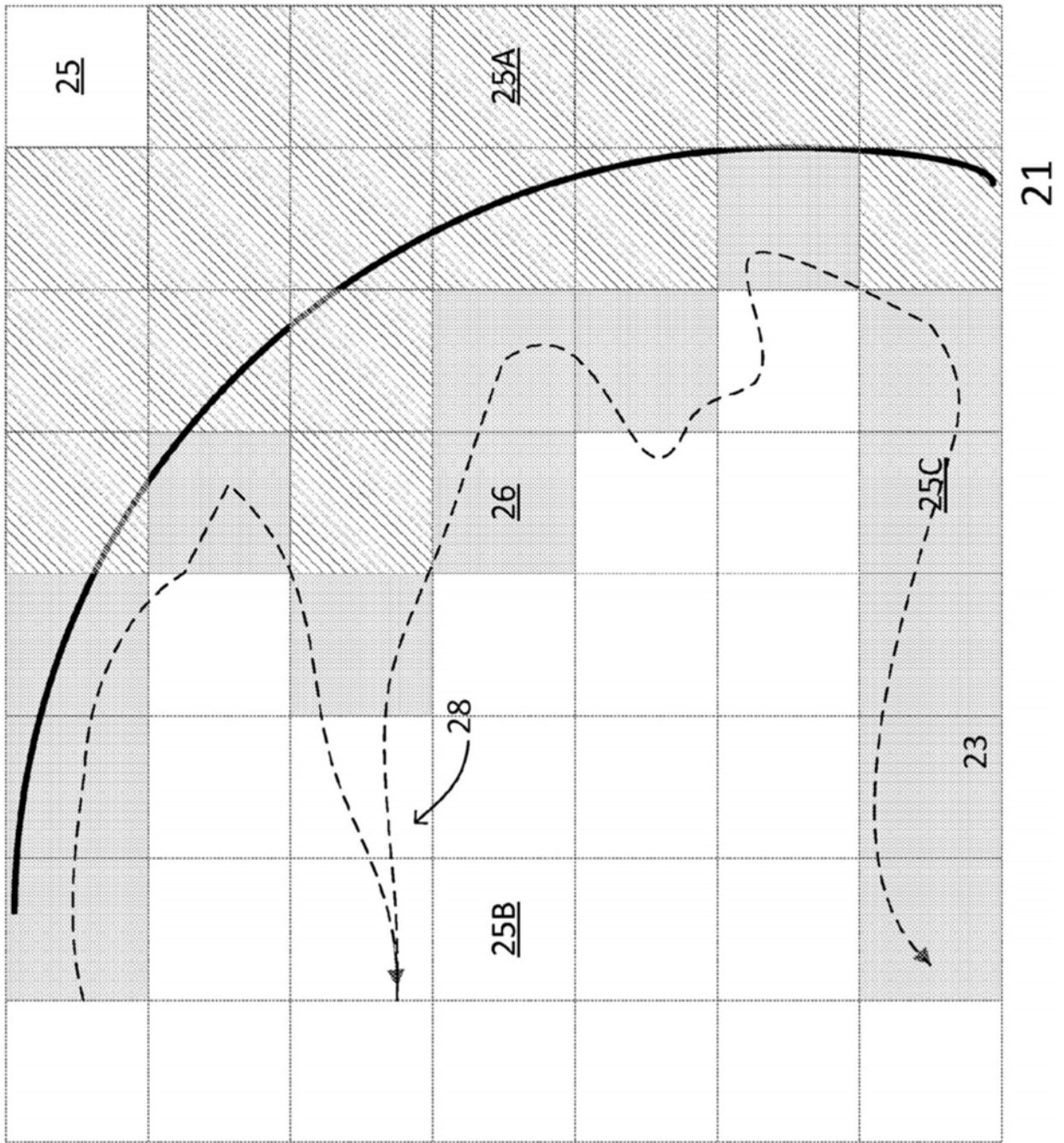


图6F

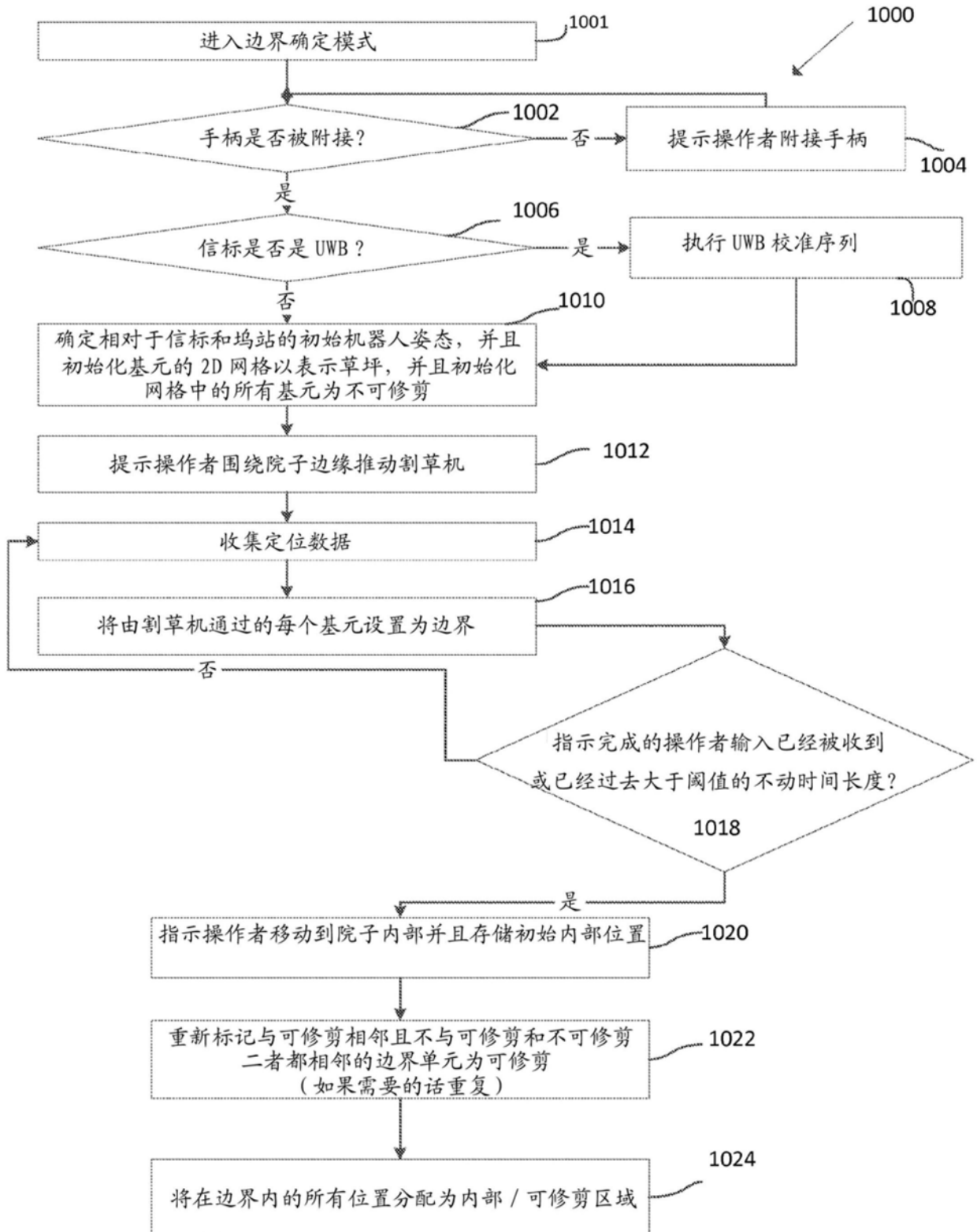


图7

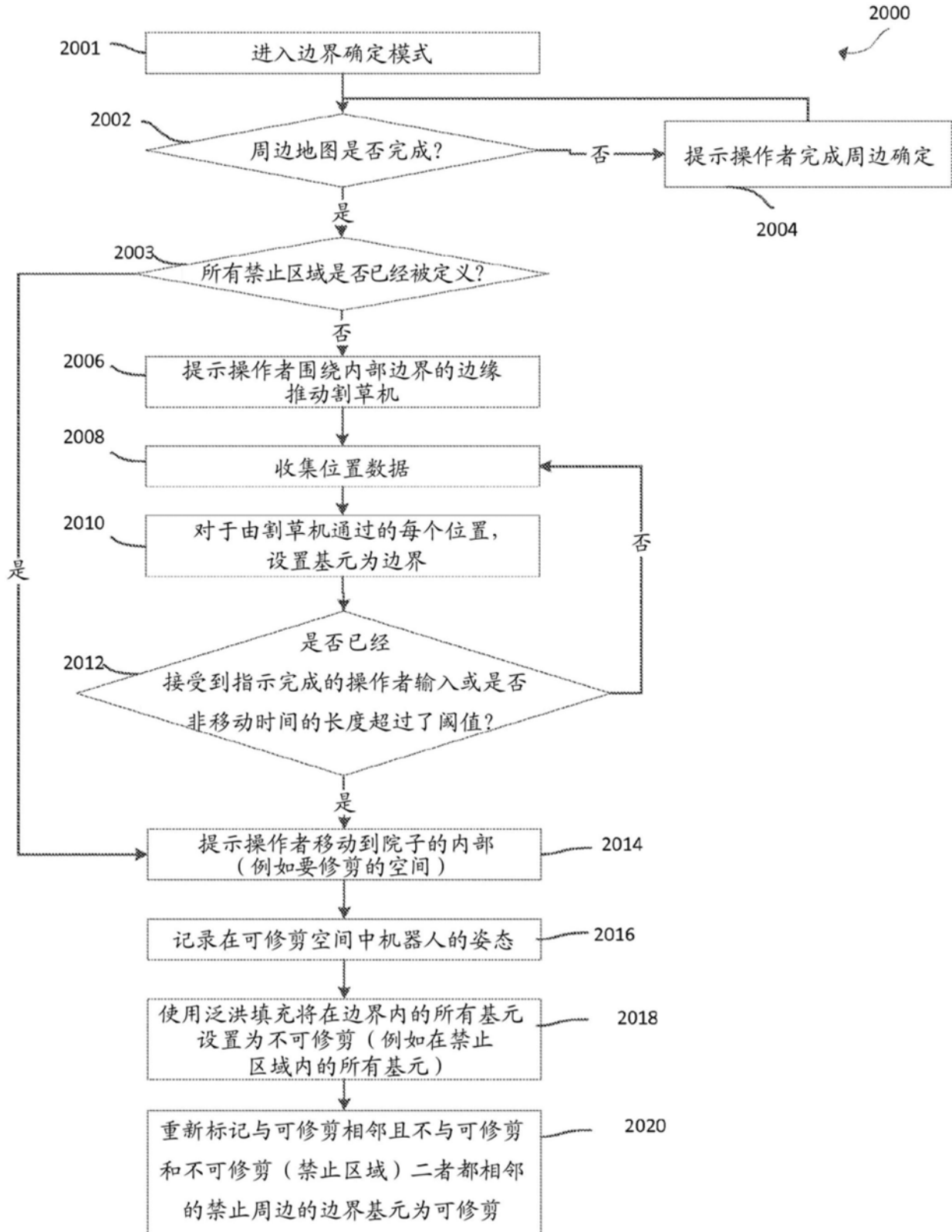


图8

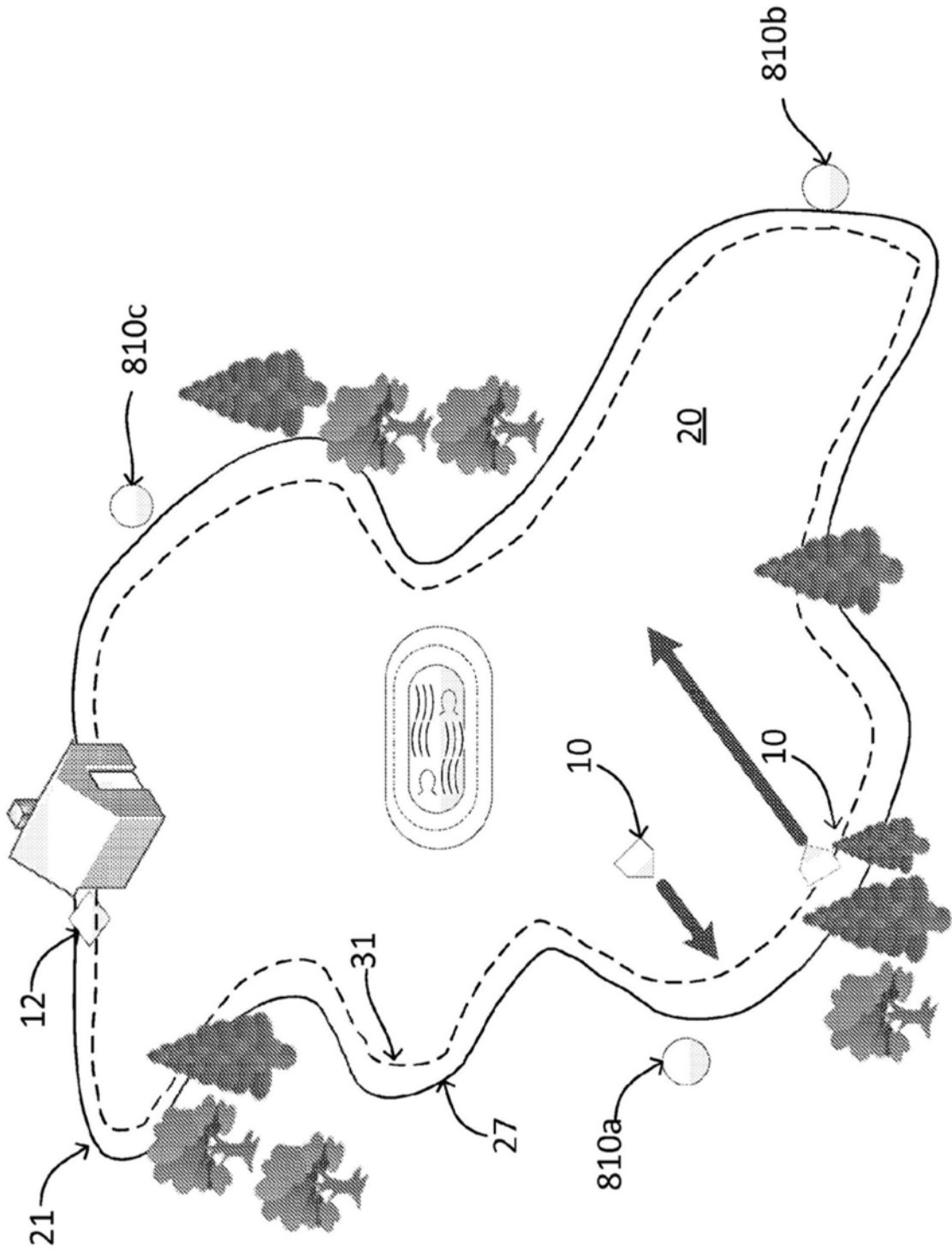


图9A

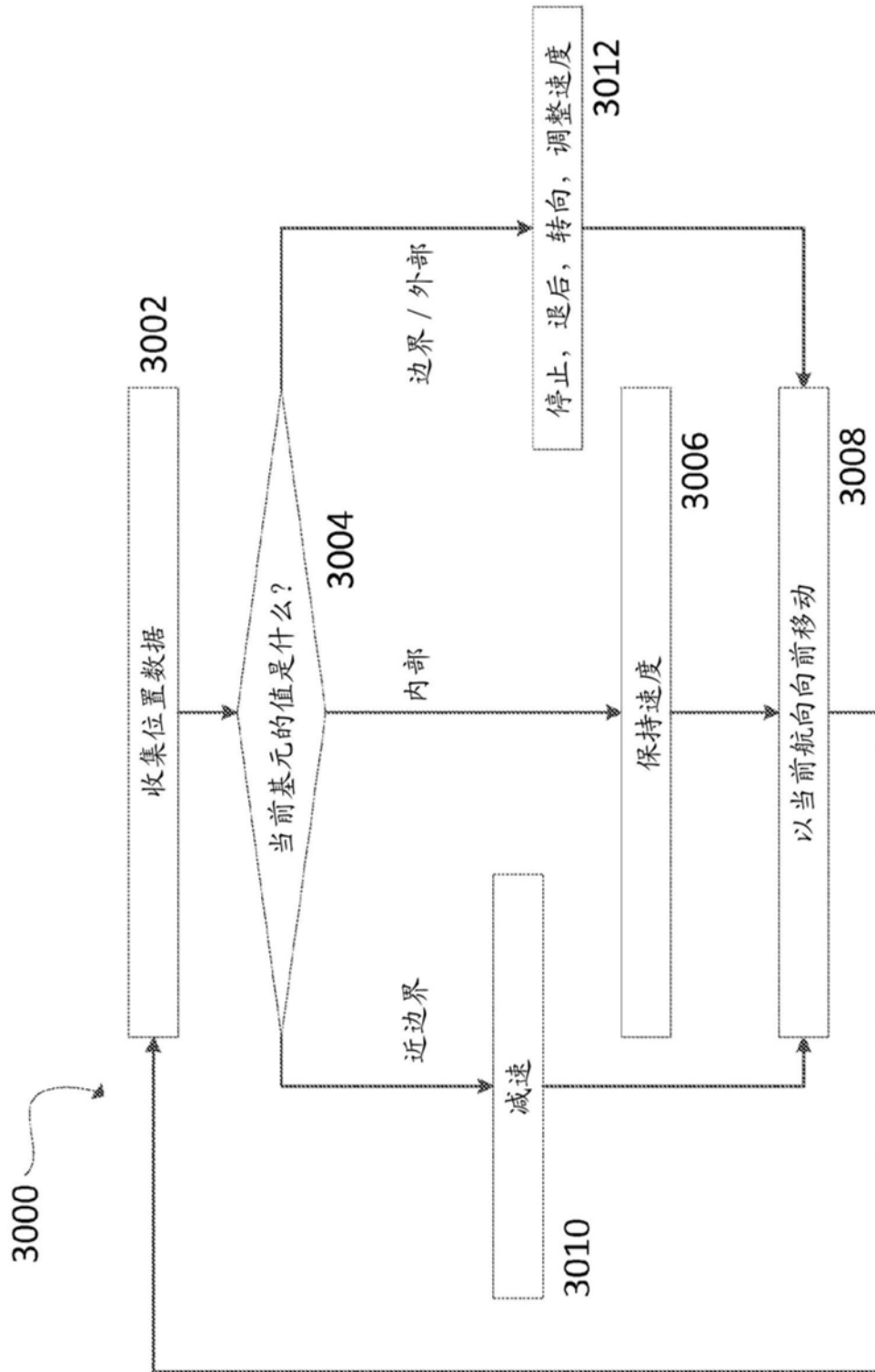


图9B

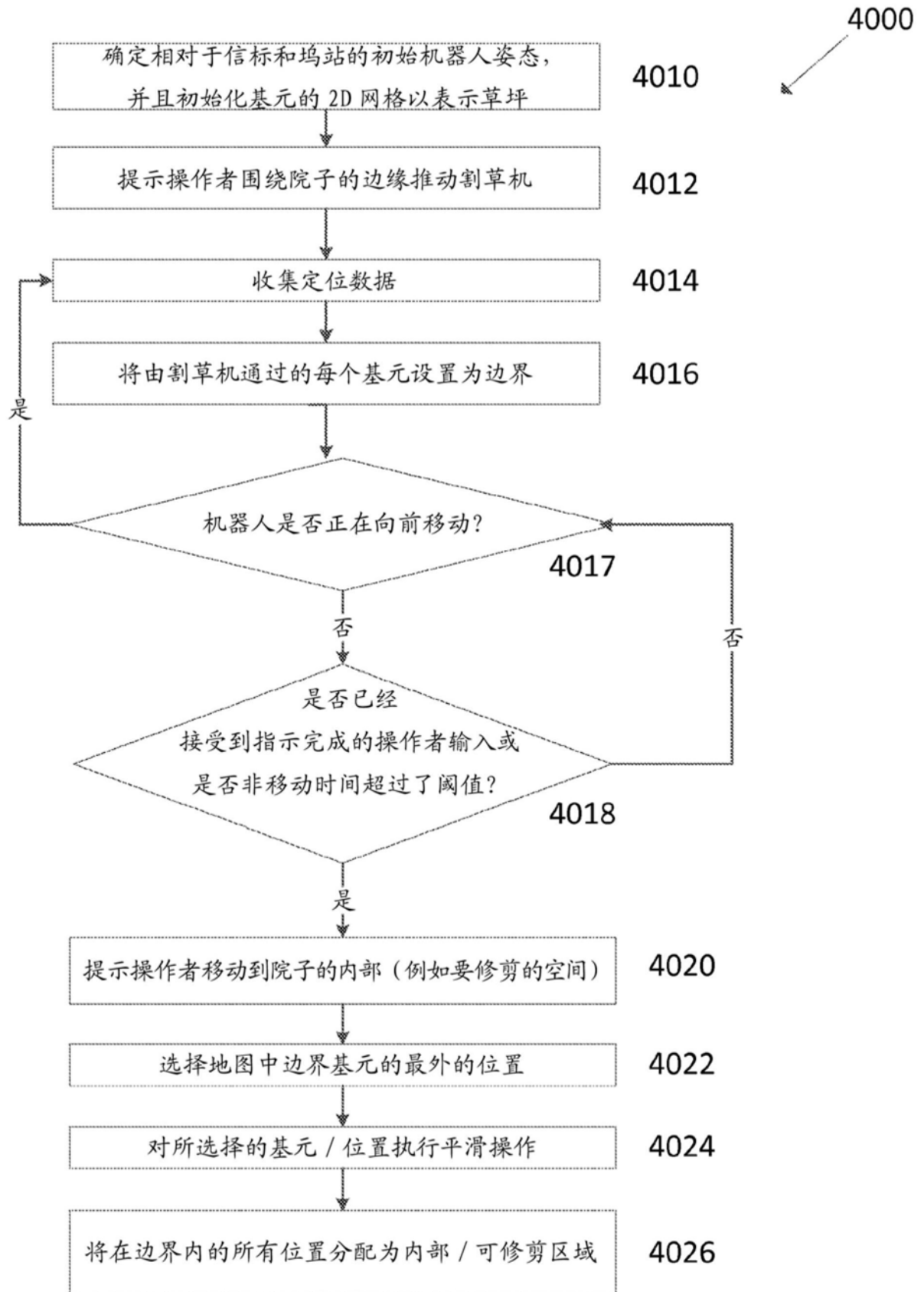


图10