(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119860747 A
(43)申请公布日 2025.04.22

(21)申请号 202411981681.4

(22)申请日 2024.12.31

(71)申请人 南京苏美达智能技术有限公司
地址 210032 江苏省南京市浦口高新开发区龙山南路111号苏美达智能科技产业园

(72)发明人 单顺利 刘楷

(74)专利代理机构 江苏致邦律师事务所 32230
专利代理师 葛胜非

(51)Int.Cl.
G01C 11/00(2006.01)
A01D 34/00(2006.01)

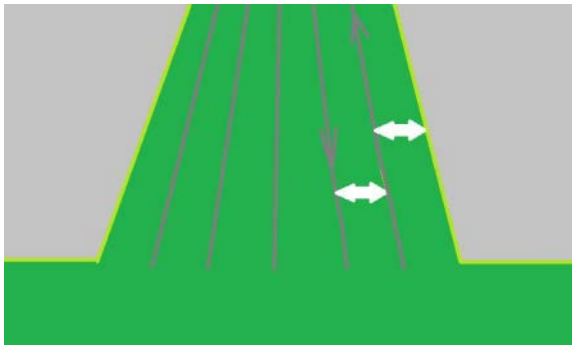
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种基于视觉检测的窄通道遍历方法

(57)摘要

本申请提供一种基于视觉检测的窄通道遍历方法。本申请基于视觉检测所获得的作业区域的边界线在自行走设备视场范围内的分布情况，在自行走设备视场不同区域分别出现不止一条边界线时，执行对窄通道进行遍历作业的算法步骤。本申请能够直接基于视觉模块所提供的像素信息确定自行走设备相对窄通道边界线的相对位置，基于边界线的相对位置驱使自行走设备以平行于窄通道侧边的方式逐次往复遍历该区域，以实现对窄通道内部的均匀作业。本申请无需增加传感设备，而是通过软件算法方式，通过对窄通道区域内自行走设备遍历方式的调控，提高其作业平整度和修剪效果。



CN 119860747 A

1.一种基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,步骤包括:

基于视觉检测所获得的作业区域边界,在作业区域边界的分布状态符合窄通道判定标准时,标记自行走装置当前所处位置为窄通道起点;

驱动自行走装置由窄通道起点沿单一作业区域边界运行,直至视觉检测所获得的作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准;

驱动自行走装置掉头,并沿上一次运行路径平移预设距离运行,直至视觉检测所获得的作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准;

重复上一步骤,直至自行走装置与另一作业区域边界的距离达到安全距离。

2.如权利要求1所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,窄通道判定标准为:基于视觉检测所获得的作业区域边界分别位于自行走装置视场范围的左右两侧。

3.如权利要求2所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,窄通道判定标准还包括:自行走装置视场范围左右两侧的作业区域边界之间,间隔距离不低于自行走装置机身宽度或机身长度的1.5倍。

4.如权利要求1所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,驱动自行走装置由窄通道起点沿单一作业区域边界运行时:

先调整自行走装置的行走方向,使自行走装置与其左侧或右侧任一的作业区域边界的距离达到安全距离,保持自行走装置沿所述任一的作业区域边界保持安全距离前进。

5.如权利要求1所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,沿上一次运行路径平移的预设距离为以下任一宽度:自行走装置的机身宽度、自行走装置的行走轮间距、自行走装置中作业装置的作业宽度、0.5m或其他任意预设的固定宽度。

6.如权利要求1-5所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,驱动自行走装置掉头前,至少驱动自行走装置沿沿单一作业区域边界运行预设距离的2倍以上。

7.如权利要求1-5所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,自行走装置与作业区域边界的安全距离为:

自行走装置向前运行或者向左及向右旋转时,保证其前轮不会超越作业区域边界的距离。

8.如权利要求3-7任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其特征在于,针对所述间隔距离、预设距离、安全距离,自行走装置按照如下方式验证:

获取自行走设备中单目相机、双目相机或深度相机所检测针对上述距离的像素坐标;

对于单目相机的像素坐标,按照自行走设备中每一像素对应的视角范围验证上述各距离;

对于双目相机的像素坐标,按照立体匹配算法计算视差图,根据基于视差图确定像素坐标所对应的深度信息,按照所述深度信息配准各像素以验证上述各距离;

对于深度相机的像素坐标,按照深度相机检测点为与像素之间的配准关系验证上述各距离。

9.一种自动行走设备,其特征在于,包括作业装置以及行走驱动装置,所述自动行走设备按照如上任一所述的方法步骤基于视觉检测驱动行走驱动装置在窄通道中遍历作业区域,并同步驱动作业装置运转作业。

10.一种计算机可读存储介质,其特征在于,设置在自动行走设备中,用于在自动行走

设备作业过程中控制其按照如上任一所述的方法步骤执行窄通道区域内的遍历作业。

一种基于视觉检测的窄通道遍历方法

技术领域

[0001] 本申请涉及智能割草设备技术领域,具体而言涉及一种基于视觉检测的窄通道遍历方法。

背景技术

[0002] 当前自动割草机的无边界割草方案中,主要使用RTK技术、UWB定位技术、激光雷达定位技术、视觉检测等手段确定草地边界。现有的识别算法、窄通道的判定逻辑很难基于视觉检测技术识别出自动行走设备运行途径上的窄通道,因此难以对窄通道区域进行遍历作业。

[0003] 基于RTK、UWB、激光雷达的方案可以确定割草机与草地边界的距离,前提是需要人遥控割草机或者带着割草机的建图模块沿着割草机需要作业的轨迹预先行走一圈,此时割草机或者建图模块会按照沿着草地边界一圈时的定位坐标创建割草机的作业地图。这个作业地图中的窄通道可以通过对全局地图中的各边界坐标进行点和线、线段和线段关系的判断获取。但是该技术需要人工操控自动行走设备预先执行对窄通道区域的遍历建模,因此实际应用中执行难度较高,且存在一定的作业风险。

[0004] 确定草地边界后,智能割草机的对边界范围内作业区域进行遍历割草作业的方案目前存在两种。一种是规划式遍历割草:人工圈定草地边界后,割草机根据作业地图自动生成遍历规划路径。一种是随机式遍历割草:当机器运行到草地边界时,通过上述的无边界定位方案确认到达草地边界时,机器随机一个角度后直线运行到下一个草地边界,通过时间和运行空间上的累积,完成整个草地的遍历。

[0005] 当前的割草机产品仅仅是把通过窄通道作为一个功能点,但是并没有针对窄通道内的草地修剪作为一个功能点。目前的自动行走割草设备在做草坪修剪作业时,如果草地中存在细长型,例如长5m宽1m的通道时,基于摄像头检测草地边界时,割草机在草地上做随机割草遍历时,现有的边界避让机制使得设备能够进入窄通道的概率很小,且割草机仅无法在有限的几次经过窄通道的过程中,完成对窄通道内草地区域的全覆盖割草作业。

发明内容

[0006] 本申请针对现有技术的不足,提供一种基于视觉检测的窄通道遍历方法,本申请基于视觉检测技术识别出狭窄通道形式的工作区域,并且通过对狭窄通道区域遍历路径的特殊驱动模式,能够确保设备对狭窄通道这种特殊区域的作业效果。本申请具体采用如下技术方案。

[0007] 首先,为实现上述目的,提出一种基于视觉检测的窄通道遍历方法,其步骤包括:基于视觉检测所获得的作业区域边界,在作业区域边界的分布状态符合窄通道判定标准时,标记自行走装置当前所处位置为窄通道起点;驱动自行走装置由窄通道起点沿单一作业区域边界运行,直至视觉检测所获得的作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准;驱动自行走装置掉头,并沿上一次运行路径平移预设距离运行,直至视觉检测所获得的

作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准;重复上一步骤,直至自行走装置与另一作业区域边界的距离达到安全距离。

[0008] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其窄通道判定标准为:基于视觉检测所获得的作业区域边界分别位于自行走装置视场范围的左右两侧。由此,本申请能够在割草机左侧或者右侧经过草地窄通道时,不触发进行窄通道遍历,此时,割草机可以按照正常的随机割草方案旋转前进;只有当割草机前方左侧和右侧同时出现草地边界且割草机通过视图像判断中间的草地区域机器可以进入时,才会满足窄通道判定标准,此时割草机才会向前运行进入此区域。进入该区域后,在机器在窄通道运行一段距离且能检测到窄通道的终点时,则确定其刚刚行走通过的这一块区域为窄通道范围,此时可以触发遍历机制,往复运行对该特殊区域进行安全的割草作业。

[0009] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其窄通道判定标准还包括:自行走装置视场范围左右两侧的作业区域边界之间,间隔距离不低于自行走装置机身宽度或机身长度的1.5倍。

[0010] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其中,驱动自行走装置由窄通道起点沿单一作业区域边界运行时:先调整自行走装置的行走方向,使自行走装置与其左侧或右侧任一的作业区域边界的距离达到安全距离,保持自行走装置沿所述任一的作业区域边界保持安全距离前进。

[0011] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其中,沿上一次运行路径平移的预设距离为以下任一宽度:自行走装置的机身宽度、自行走装置的行走轮间距、自行走装置中作业装置的作业宽度、0.5m或其他任意预设的固定宽度。

[0012] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其中,驱动自行走装置掉头前,至少驱动自行走装置沿沿单一作业区域边界运行预设距离的2倍以上。

[0013] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其中,自行走装置与作业区域边界的安全距离为自行走装置向前运行或者向左及向右旋转时,保证其前轮不会超越作业区域边界的距离。

[0014] 可选的,如上任一所述的基于视觉检测的窄通道遍历方法,其中,针对所述间隔距离、预设距离、安全距离,自行走装置按照如下方式验证:获取自行走设备中单目相机、双目相机或深度相机所检测针对上述距离的像素坐标;对于单目相机的像素坐标,按照自行走设备中每一像素对应的视角范围验证上述各距离;对于双目相机的像素坐标,按照立体匹配算法计算视差图,根据基于视差图确定像素坐标所对应的深度信息,按照所述深度信息配准各像素以验证上述各距离;对于深度相机的像素坐标,按照深度相机检测点为与像素之间的配准关系验证上述各距离。

[0015] 同时,为实现上述目的,本申请还提供一种自动行走设备,其包括作业装置以及行走驱动装置,所述自动行走设备按照如上任一所述的方法步骤基于视觉检测驱动行走驱动装置在窄通道中遍历作业区域,并同步驱动作业装置运转作业。

[0016] 此外,本申请还相应地提供一种计算机可读存储介质,其设置在自动行走设备中,用于在自动行走设备作业过程中控制其按照如上任一所述的方法步骤执行窄通道区域内的遍历作业。

有益效果

[0017] 本申请所提供的一种基于视觉检测的窄通道遍历方法。本申请基于视觉检测所获得的作业区域的边界线在自行走设备视场范围内的分布情况,在自行走设备视场不同区域分别出现不止一条边界线时,执行对窄通道进行遍历作业的算法步骤。本申请能够直接基于视觉模块所提供的像素信息确定自行走设备相对窄通道边界线的相对位置,基于边界线的相对位置驱使自行走设备以平行于窄通道侧边的方式逐次往复遍历该区域,以实现对窄通道内部的均匀作业。本申请无需增加传感设备,而是通过软件算法方式,通过对窄通道区域内自行走设备遍历方式的调控,提高其作业平整度和修剪效果。

[0018] 本申请的其它特征和优点将在随后的说明书中阐述,并且,部分地从说明书中变得显而易见,或者通过实施本申请而了解。

附图说明

[0019] 附图用来提供对本申请的进一步理解,并且构成说明书的一部分,并与本申请的实施例一起,用于解释本申请,并不构成对本申请的限制。在附图中:

图1是现有技术下自动行走设备经过窄通道附近时的示意图;

图2是本申请的自动行走设备锁检测到的窄通道示意图;

图3是本申请中自动行走设备上摄像头拍摄范围的示意图;

图4是本申请的自动行走设备每次遍历过程中运行路径的平移方式的示意图;

图5是本申请的自动行走设备遍历作业过程的示意图。

具体实施方式

[0020] 为使本申请实施例的目的和技术方案更加清楚,下面将结合本申请实施例的附图,对本申请实施例的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例是本申请的一部分实施例,而不是全部的实施例。基于所描述的本申请的实施例,本领域普通技术人员在无需创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0021] 本技术领域技术人员可以理解,除非另外定义,这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本申请所属领域中的普通技术人员的一般理解相同的意义。还应该理解的是,诸如通用字典中定义的那些术语应该被理解为具有与现有技术的上下文中的意义一致的意义,并且除非像这里一样定义,不会用理想化或过于正式的含义来解释。

[0022] 本申请中所述的“和/或”的含义指的是各自单独存在或两者同时存在的情况均包括在内。

[0023] 本申请中所述的“内、外”的含义指的是相对于作业区域本身而言,指向作业区域内部的方向为内,反之为外;而非对本申请的装置机构的特定限定。

[0024] 本申请中所述的“左、右”的含义指的是使用者正对自行走设备前进方向时,使用者的左边即为左,使用者的右边即为右,而非对本申请的装置机构的特定限定。

[0025] 本申请中所述的“连接”的含义可以是部件之间的直接连接也可以是部件间通过其它部件的间接连接。

[0026] 本申请中所述的“上、下”的含义指的是使用者正对自行走设备前进方向时,由作业地面指向自行走设备机身顶部的方向即为上,反之即为下,而非对本申请的装置机构的特定限定。

[0027] 本发明提出一种基于摄像头的割草机草地窄通道遍历方法。本申请主要基于视觉RGB摄像头实现随机遍历割草。参考图1,现有技术下,基于这种方案存在窄通道识别困难或者无法在窄通道内遍历割草的问题。本申请通过在智能割草机器人上安装的摄像头,基于摄像头所采集的作业区域的视场图像进行边界识别,配合设备自身实时的轮速计和惯性导航系统等实现对机器位姿的推算,从而,基于视场中对草地中窄通道的判定,通过融合算法智能化的控制机器在窄通道内完成对该局部的草地的遍历割草作业。

[0028] 具体参照图3所示,本身在自动行走设备的机身上部固定安装有视觉检测装置,其可任选设置为单目相机、双目相机或深度相机。由于视觉检测装置在机身上的安装位置固定,其所拍摄的视场图像中各像素位置所对应的相对自行走设备的实际位置也相对固定。因此,本申请可利用该视场图像,根据相机的视角大小、相机的安装高度、草地边界在视场图像中的相应位置判定窄通道,从而基于视觉检测所明确的视场图像中的作业区域边界,根据视场图像中各像素点相对设备机身的位置关系,在作业区域边界相对机身的分布状态符合窄通道判定标准时,标记自行走装置当前所处位置为窄通道起点,从而出发设备进入窄通道遍历模式。该模式下,设备的控制单元先驱动自行走装置由窄通道起点沿该通道中单独一侧的作业区域边界运行,直至设备通过该窄通道从而使得视觉检测所获得的作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准;然后,驱动自行走装置掉头,并沿上一次运行路径平移一定的预设距离返回运行,直至设备从相反方向返回至窄通道中起点所在一侧,从而进一步根据视觉检测所获得的作业区域边界的分布状态不再符合窄通道判定标准而出发设备继续掉头,沿另一方向继续遍历窄通道。由此,重复上一步骤,直至自行走装置与另一作业区域边界的距离达到安全距离,即可认为设备已经在安全作业的前提要求下完成了对全部窄通道区域的遍历作业,由此可驱动设备离开窄通道区域,继续对连续的较大作业区域继续进行遍历作业。

[0029] 视觉方案中最常使用RGB摄像机实现对作业区域的市场图像的采集,在较为先进的机型中,还可将RGB摄像机与深度相机相配合,综合通过两种传感器检测手段获得草地边界信息。

[0030] 单RGB方案,一般采用将RGB相机安装在割草机车头位置,将相机的拍摄角度设置为从机身车头斜向下方,根据相机安装高度和RGB图像中像素点的实际成像位置对各像素点所对应的地面位置相对机身的距离做提前标定,通过该标定即可估算出各像素点所对应的地面位置相对于机身的大致距离。由此,通传统的图像处理方法,例如通过图像纹理、颜色等信息识别出草地和非草地的边界后,即可通过该边界所对应的像素位置估算出边界线与设备机身的大致位置关系。在算力较为充分的机型中,也可以通过深度学习方案,将图像中不同像素区域进行识别和分割,识别出草地的边界。从而根据RGB检测到的草地边界的像素位置确定其与设备机身的距离信息。

[0031] 对于,RGB摄像机加深度相机的方案,可以将RGB相机与深度相机所获得的像素进行配准,将深度相机中每个深度采样点对应至像素图像的一块像素区域中,在根据RGB信息判断出工作区域边界线的像素位置后,通过深度相机实时提供RGB相机中识别获得的草地边界相对设备机身的深度距离。

[0032] 上述的RGB相机,既可以采用单目相机,也可以采用双目相机。若使用单目相机,可以通过相机安装的高度、角度,相机出图中像素在实际空间的距离等信息,估算出草地边界

相对于割草机车身摄像头的位置。如图一所示,相机安装位置如为101,最近出看到草地与车头的距离为L1,在相机高度安装确定的情况下,可以做到对视角范围内不同像素的深度距离估算。

[0033] 若使用的是双目相机,通过立体匹配算法计算视差图,进而获取到深度图,通过与草地边界检测图进行配准,可以获取到草地边界相对于割草机车身摄像头的位置。

[0034] 参考图2,通常草地中出现比较窄的草地通道情况分为以下几种:

1、两块大的草坪连接通道

2、一块大的草地中大的物体与草地或者大的物体之间形成狭窄通道。

[0035] 3、受地形所限,草地的某一部分形成的狭窄草地;

针对这些情况,自动行走设备可以通过RGB色彩范围,或草地区域的肌理特征判断草地所对应的工作区域的边界线为同时出现在检测图像左右两侧的浅绿色部分。

[0036] 考虑到机器摄像头在进行草地狭窄通道识别的前提条件是需要能够在进入窄通道时同时观察到两边的草地边界。因此,可以将前述驱动策略中对窄通道判定标准为:基于视觉检测所获得的作业区域边界分别位于自行走装置视场范围的左右两侧。此时设备可沿其中任意一侧的边界线进入窄通道区域进行作业。

[0037] 与之相对,当割草机左侧或者右侧经过草地窄通道时,割草机可以按照正常的随机割草方案旋转前进,只有当割草机前方左侧和右侧同时出现草地边界且割草机通过视图像判断中间的草地区域机器可以进入时,割草机才会向前运行进入此区域。在机器在窄通道运行一段距离且能检测到窄通道的终点时,则判断此区域为窄通道,然后才会触发遍历机制,触发自动行走设备向后返回以便对窄通道的其他位置进行作业。由此往复,即可通过对自动行走设备往复运行过程中的路径间距进行调控,从而驱使其在往复遍历过程中逐渐完成对整个通道区域的遍历作业。

[0038] 考虑到受限于割草机上摄像头的安装高度及相机镜头的视场角限制,一般还可将狭窄通道定义为符合如下要求的区域:最窄为割草机机身长度1.5倍,最宽2m;或者,该区域的长度是宽度的2倍或者2倍以上。例如一款割割草机长度是0.5m,狭窄通道最小宽度0.75m,最小长度1m。

[0039] 由此,自行走设备运行过程中,当其相机视角的左右两边同时检测出草地边界且中间的草地宽度能够通行割草机时,即可将该位置判定为窄通道的起点。此时可驱动机器先调整自行走装置的行走方向,使自行走装置与其左侧或右侧任一的作业区域边界的距离达到安全距离,保持自行走装置按照图4所示沿所述任一的作业区域边界保持安全距离前进,并根据机器轮速计和IMU推算机器的运行轨迹。当向前运行一段距离后,相机视角内不能满足两边同时检测到草地边界,判定为终点。此时割草机将根据从起点到终点的运行距离,在至少驱动自行走装置沿沿单一作业区域边界运行预设距离的2倍以上时判断该区域为窄通道。

[0040] 当距离符合窄通道判定逻辑时,机器会启动窄通道内的遍历割草控制逻辑,参照图4方式,利用其图像传感装置所确定的工作区域边界线位置,沿上一次运行路径增加一个预设的平移距离,以该路径作为下一次通过窄通道的路径。由此,通过对窄通道通过路径的逐次平移,使自动行走设备的运行轨迹铺满窄通道,实现对窄通道内草地的修剪。上述往复平移的遍历过程中,可以按照以下任一宽度在窄通道区域内进行往复作业直至设备的作业

路径无法满足安全距离要求:自行走装置的机身宽度、自行走装置的行走轮间距、自行走装置中作业装置的作业宽度、0.5m或其他任意预设的固定宽度。

[0041] 当距离不符合窄通道判定逻辑时,机器将删除窄通道起点标记,继续执行遍历割草任务。

[0042] 上述作业过程中,窄通道内,自行走装置与作业区域边界的安全距离是指机器向前运行或者向左及向右旋转时,机器前轮不会出草地边界的距离。其一般可以根据自动行走设备的车身长度、宽度、其最小转弯半径等因素综合确定。

[0043] 为准确控制设备安全运行,上述运行过程中,设备可按照如下方式对所述间隔距离、预设距离、安全距离进行验证:

对于安装有单目相机、双目相机或深度相机的自行走设备,先获取自行走设备中单目相机、双目相机或深度相机所检测针对上述距离的像素坐标;

然后,对于单目相机的像素坐标,按照自行走设备中每一像素对应的视角范围验证上述各距离;

或者,对于双目相机的像素坐标,按照立体匹配算法计算视差图,根据基于视差图确定像素坐标所对应的深度信息,按照所述深度信息配准各像素以验证上述各距离;

或者,对于深度相机的像素坐标,按照深度相机检测点为与像素之间的配准关系同样可验证上述各距离。

[0044] 以图5为例。当经过上面的方法识别到机器在通过窄通道时,机器会在判定为窄通道终点的位置启动窄通道的遍历割草模式。该模式下,机器会掉头进入窄通道内,并通过摄像头保持割草机与其中一条草地边界的距离。假设窄通道的草地边分别为A和B ,控制上可设定将机器从靠近窄通道的一条边A开始启动割草作业,当割草机到达另外一头时,增加与割草机与A草地边的距离为一个刀盘切割宽度开始下一条路径的割草作业,依次循环,当割草机到达设定的与B草地边的安全距离后,机器退出窄通道的割草作业,进入随机遍历割草机作业。

[0045] 为防止割草机多次进入窄通道内重复遍历割草,本申请可基于以上的设定,在割草机第一次通过窄通道时,完成窄通道的遍历割草作业。

[0046] 当机器在随机遍历割草作业时,可能还会多次进入窄通道区域。此时可以通过视觉或者割草机刀盘负载对窄通道是否已经完成割草作业进行是否需要作业的判断。

[0047] 例如,当使用刀盘负载大小进行判断时,则可在割草机进入已切割完成的窄通道时,通过刀盘的空载运转状态判断该区域无需继续进行割草遍历,此时可以控制控制割草机直接居中通过窄通道,进入通道另一端的草坪,或者控制割草机退出狭窄草地区域。视觉判断时,则可根据割草后草地的色彩范围或其肌理特征,或者结合机器学习的识别模块实现对完成区域的判定。当判定该狭窄通道无需割草时,同样可控制控制割草机直接居中通过窄通道,进入通道另一端的草坪,或者控制割草机退出狭窄草地区域。

[0048] 由此,本申请通过基于视觉检测所获得的作业区域边界相对于自行走装置视场范围的分布情况可以快速确定需要独立规划作业路径的窄通道的区域范围,基于窄通道区域的边界线实现对设备的导向和定位,完成窄通道内的草地遍历,提升割草机的草坪维护效率。本申请所提供的针对窄通道区域的遍历作业方法可以与设备目前正在使用的单目相机、双目相机、深度相机的割草机视觉方案兼容。

[0049] 以上仅为本申请的实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本申请专利范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些均属于本申请的保护范围。

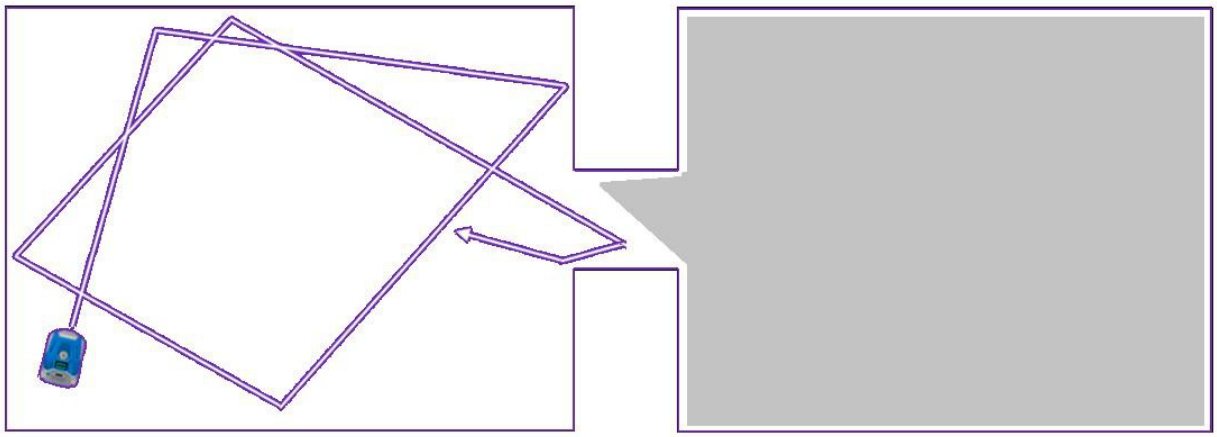


图 1

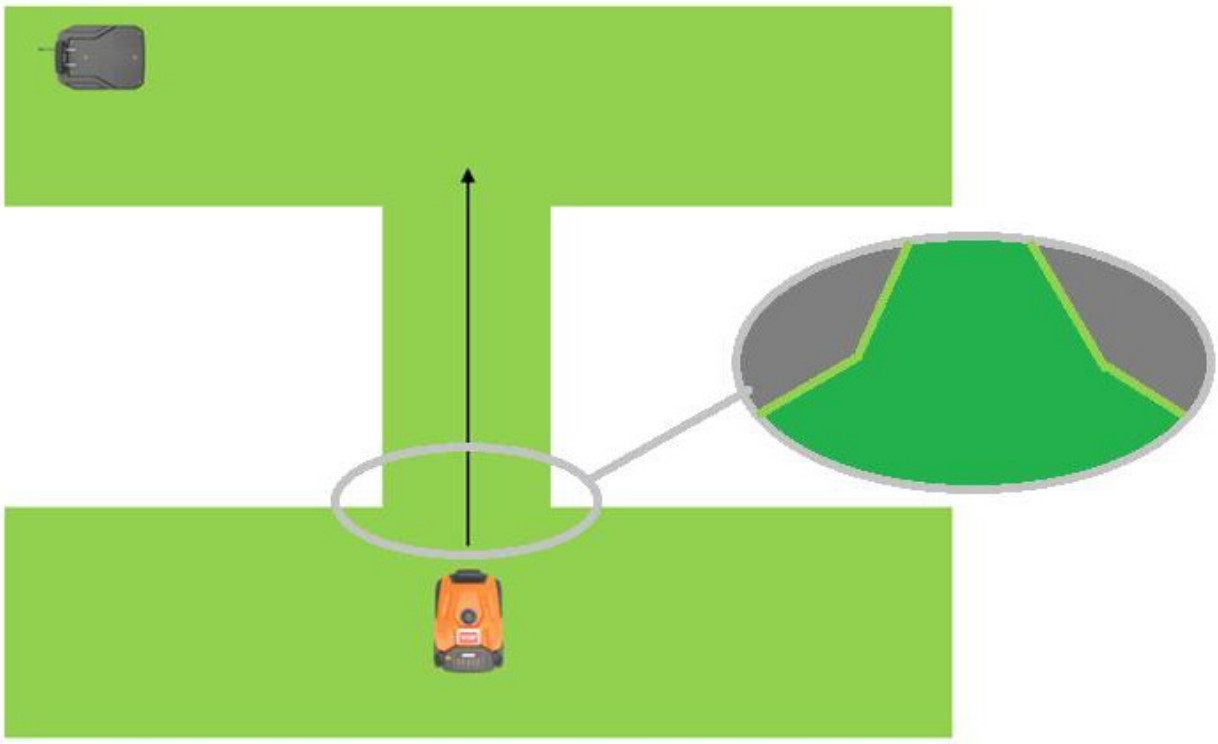


图 2

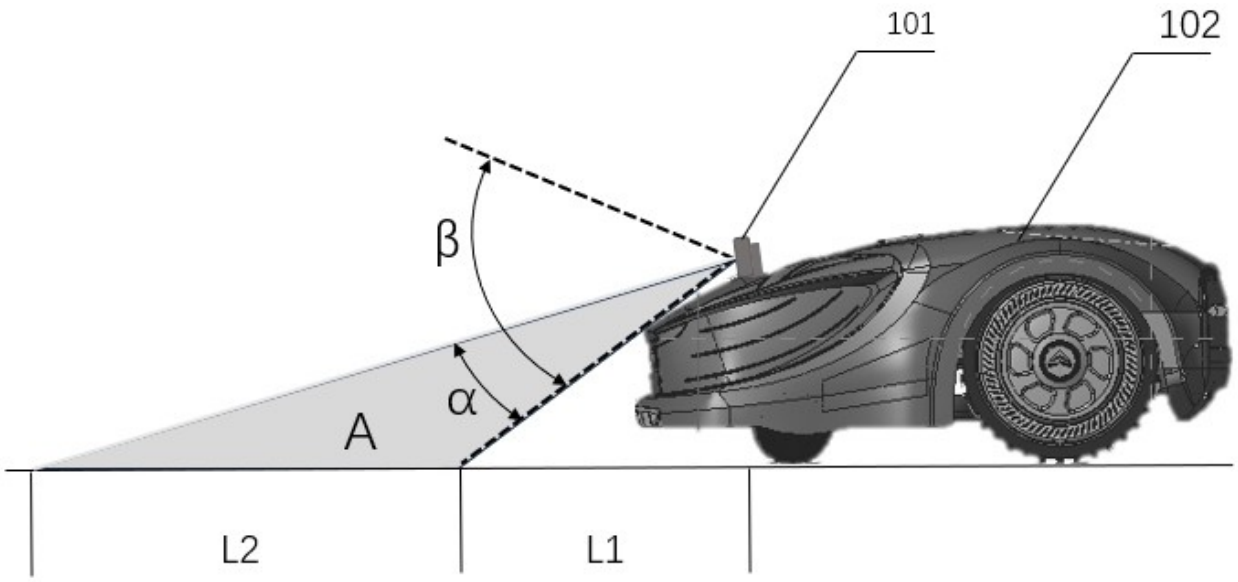


图 3

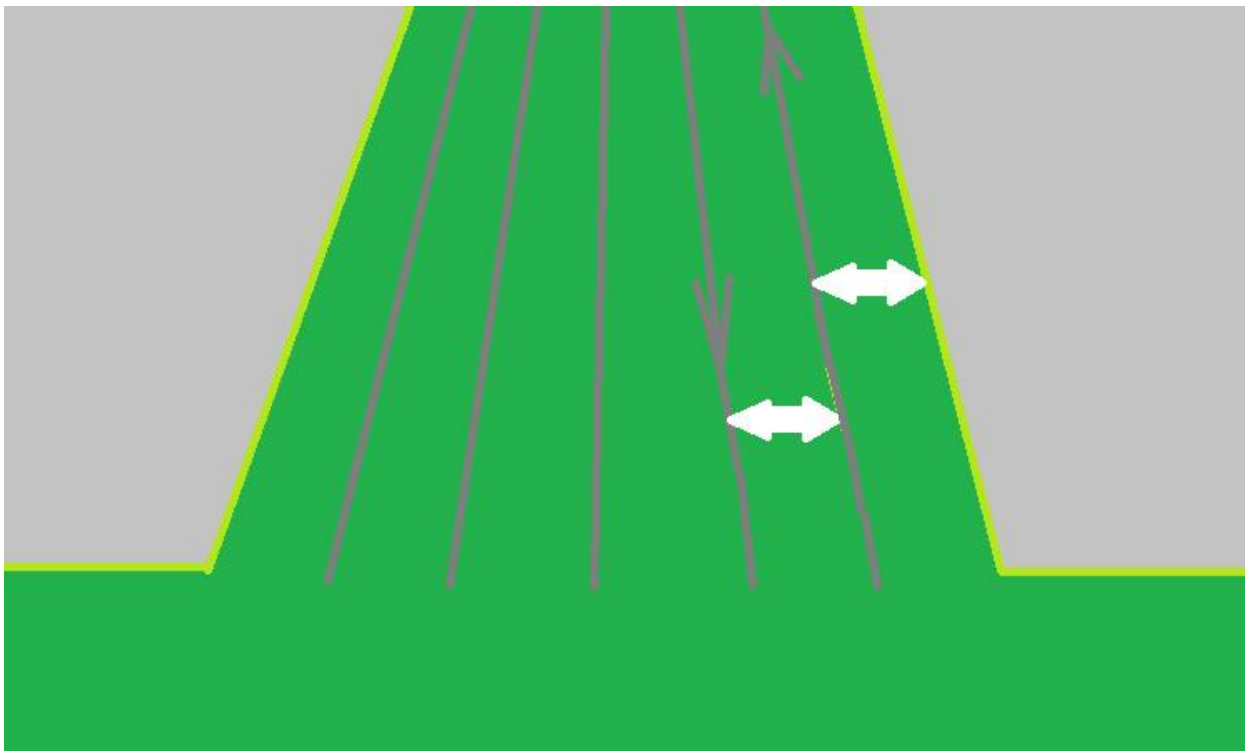


图 4

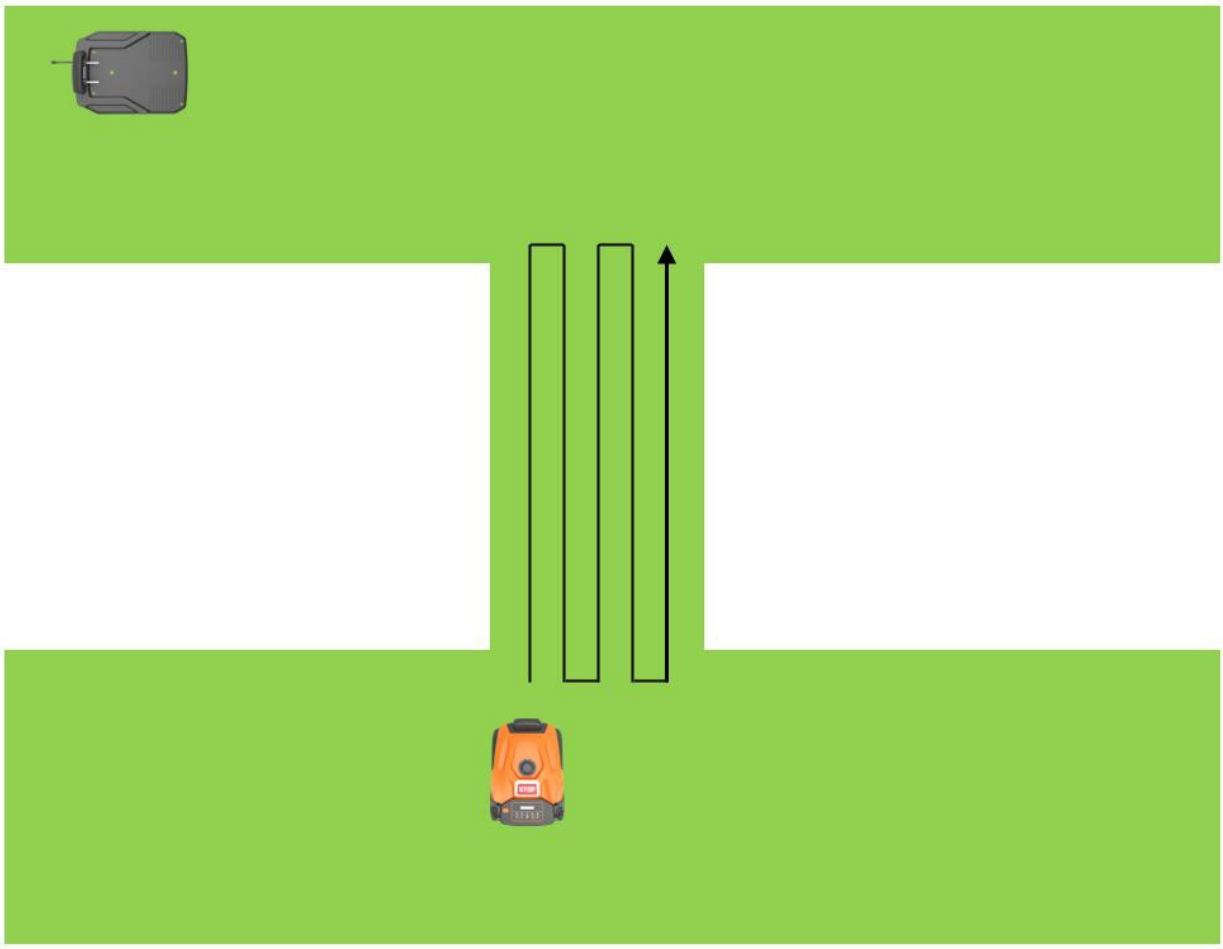


图 5