



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112066989 A

(43) 申请公布日 2020.12.11

(21) 申请号 202010838354.9

(22) 申请日 2020.08.19

(71) 申请人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市屯溪路193号

(72) 发明人 孔慧芳 孙纪兴 胡杰 房亮

赵志慧

(74) 专利代理机构 合肥和瑞知识产权代理事务
所(普通合伙) 34118

代理人 王挺

(51) Int.Cl.

G01C 21/20 (2006.01)

G01C 21/00 (2006.01)

G01C 21/16 (2006.01)

G01S 17/931 (2020.01)

G01S 17/89 (2020.01)

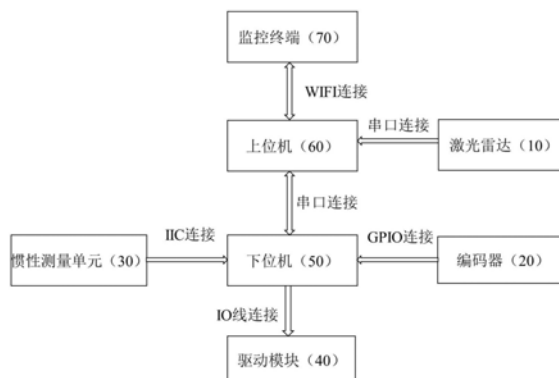
权利要求书4页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统及导航方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统及导航方法,涉及移动机器人自动导航技术领域。室内AGV自动导航系统包括上位机、下位机、地面监控计算机、驱动模块、激光雷达、惯性测量单元和编码器。上位机通过激光雷达所采集的障碍物位置信息和下位机传递的AGV的加速度信息、AGV的角速度信息、AGV的速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息,按照激光SLAM建图程序来构建二维栅格地图,然后通过无线WIFI接收地面监控计算机分配的任务在已建立的地图上进行全局路径规划。本发明利用了ROS的分布式框架和开源代码,能够实现AGV室内自主导航。



1. 一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,其特征在于,包括激光雷达(10)、惯性测量单元(20)、编码器(30)、驱动模块(40)、下位机(50)、上位机(60)和监控终端(70);

所述激光雷达(10)与上位机(60)通过串口单向连接,激光雷达(10)采集障碍物位置信息,并将障碍物位置信息传递给上位机(60);

所述惯性测量单元(20)与下位机(50)通过IIC接口单向连接,惯性测量单元(20)采集AGV加速度信息和AGV角速度信息,并将AGV加速度信息和AGV角速度信息传递给下位机(50);

所述编码器(30)与下位机(50)通过GPIO接口单向连接,编码器(30)采集AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息,并将AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息传递给下位机(50);

所述下位机(50)与上位机(60)通过串口双向连接,所述下位机(50)通过IO线与驱动模块(40)单向连接,所述上位机(60)与监控终端(70)通过无线WIFI实现通讯连接;

所述下位机(50)将接收到的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息传递给上位机(60),并接收上位机(60)发布的全局路径R,下位机(50)再将驱动指令发送给驱动模块(40),驱动模块(40)控制AGV按照全局路径R行驶;

所述上位机(60)接收监控终端(70)发布的导航目标点;上位机(60)接收激光雷达(10)传递的障碍物位置信息、下位机(50)传递的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息,按照激光SLAM建图程序来构建二维栅格地图和在已构建的地图上进行路径规划产生全局路径R,并将全局路径R传递给下位机(50),所述激光SLAM建图程序是指搭载激光雷达、编码器和惯性测量单元传感器,在没有环境先验信息的情况下,在运动的过程中搭建二维栅格地图,同时估计自己的运动;

所述监控终端(70)负责向上位机(60)发布导航目标点;

所述驱动模块(40)包括驱动电路、左轮驱动电机和右轮驱动电机,驱动电路接受下位机(50)发送的驱动指令后,按照驱动指令控制左轮驱动电机和右轮驱动电机,实现AGV的行驶。

2. 根据权利要求1所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,其特征在于,所述上位机(60)为工控机,操作系统为Linux和ROS,包含建图、自动导航及信息传输功能;所述下位机(50)为嵌入式开发板。

3. 根据权利要求1所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,其特征在于,所述监控终端(70)为PC机、笔记本、工控机和平板电脑中的一种或多种,监控终端(70)的操作系统为Linux和ROS,包括在线显示地图和AGV导航目标点指定。

4. 根据权利要求1所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,其特征在于,所述障碍物位置信息中的障碍物包括动态障碍物和静态障碍物,静态障碍物包括墙面、办公设施、仪器设备,公共设施,动态障碍物包括人、动物和移动的物体;所述障碍物位置信息是指障碍物相对于AGV的距离信息和方位信息。

5. 根据权利要求1所述的基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,其特征在于,所述室内AGV自动导航系统中还包括一个供电模块,用于给上位机(60)、下位机(50)、驱动模块(40)、和编码器(30)、惯性测量单元(20)和激光雷达(10)供电。

6. 根据权利要求1所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航方法,其特征在于,包

括以下步骤:

步骤1,静态二维栅格地图的构建;

步骤1.1,记AGV所在的给定环境为 E , $E=W \times H$,其中 W 为给定环境 E 的长度, H 为给定环境 E 的宽度,记AGV在给定环境 E 中的起始位姿为点 O ,在给定环境 E 中启动AGV,并在人为指引下AGV从点 O 开始运动;

步骤1.2,实时信息的获取,包括上位机(60)通过激光雷达(10)获取障碍物位置信息,下位机(50)通过惯性测量单元(20)采集AGV加速度信息和AGV角速度信息、通过编码器(30)采集AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息;下位机(50)将获取的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息通过串口传递给上位机(60);

步骤1.3,根据步骤1.2获取的实时信息,上位机(60)利用激光SLAM算法在给定环境 E 中构建栅格边长为 L 的静态二维栅格地图 $M1$;

在静态二维栅格地图 $M1$ 上以点 O 为原点建立平面地图坐标系,平面地图坐标系纵轴正方向为AGV车头所指的方向,纵轴正方向顺时针旋转 90° 为横轴正方向;所述静态二维栅格地图 $M1$ 是一张由黑色栅格和白色栅格组成的地图,以相应的颜色表示每个栅格的占用状态,白色表示栅格为空闲状态,黑色表示栅格为被占用状态;

步骤1.4,以每个栅格的对角线相交点在平面地图坐标系上的坐标来表示栅格在平面地图坐标系上的坐标,确定步骤1.3获取的静态二维栅格地图 $M1$ 上每个白色栅格在平面地图坐标系上的坐标,并将二维栅格地图 $M1$ 上每个黑色栅格在平面地图坐标系上的坐标设置为固定值 $(W1, H1)$,其中, $W1 > W, H1 > H$:将含有栅格坐标的静态二维栅格地图记为静态二维栅格地图 $M2$;

步骤1.5,上位机(60)保存步骤1.4所获取的静态二维栅格地图 $M2$,并通过无线WIFI将静态二维栅格地图 $M2$ 传递给监控终端(70);

步骤2,监控终端(70)向上位机(60)发布导航目标点并将导航目标点记为点 S ;

步骤3,上位机(60)接收导航目标点 S ,记AGV当前位置为点 G ,并以点 G 为起点、点 S 为终点在静态二维栅格地图 $M2$ 上采用A*算法规划出一条安全无碰撞的全局路径 R ;

设AGV轮廓为正方形,边长为 $L1, L1 \leq L$,且AGV只能沿着栅格的边界横向移动或者纵向移动;

设静态二维栅格地图 $M2$ 中的每一个栅格为一个路点,将点 G 所在栅格设置为起始路点 P_{init} ,将步骤3所述的点 S 所在栅格设置为目标路点 P_{goal} ;

设从起始路点 P_{init} 到达目标路点 P_{goal} 需要循环的次数为 N ,并产生 N 个当前路点,将 N 次循环中的任意一次循环记为循环 i, N 个当前路点中的任意一个当前路点记为当前路点 $P_i, i = 1, 2, \dots, N$,特别的当 $i = 1$,取 $P_1 = P_{init}$;

将当前路点 P_i 周围的四个路点中的任意一个路点记为邻居路点 $P_{in}, n = 1, 2, 3, 4, i = 1, 2, \dots, N$,所述当前路点 P_i 周围的四个路点包括:与当前路点 P_i 在左边相邻的路点、与当前路点 P_i 在右边相邻的路点、与当前路点 P_i 在前边相邻的路点、与当前路点 P_i 在后边相邻的路点;

建立列表1和列表2,列表1用来存储起始路点 P_{init} 和邻居路点 P_{in} ,列表2用来存储全局路径 R 规划过程中得到的当前路点 P_i ;

具体的,全局路径R的规划步骤如下:

步骤3.1,获取起始路点 P_{init} 和目标路点 P_{goal} ,并将起始路点 P_{init} 放到列表1中;

步骤3.2,进行N次循环得到N个当前路点,并将该N个当前路点均存储在表2中,其中任一次循环i的过程如下:

步骤3.2.1,如果为第一次循环,则直接将起始路点 P_{init} 视为当前路点 P_1 ;如果不是第一次循环,则将列表1中代价估计 $F(i)$ 值最小的路点视为当前路点 P_i ;

步骤3.2.2,将当前路点 P_i 移动到列表2中并从表1中删除;

步骤3.2.3,考察当前路点 P_i 的每个邻居路点 P_{in} ,考察情况如下:

情况1,若邻居路点 P_{in} 已在列表1中或列表2中,忽略该邻居路点 P_{in} ;

情况2,若邻居路点 P_{in} 的坐标值为 $(W1, H1)$,忽略该邻居路点 P_{in} ;

情况3,若邻居路点 P_{in} 既不在列表1中也不在列表2中且该邻居路点坐标值不为 $(W1, H1)$,则计算该邻居路点的代价估计 $F(i)$,并将该邻居路点 P_{in} 加入到列表1中;

步骤3.3,全局路径R的形成;

步骤3.3.1对步骤3.2得到的N个当前路点依次计算第i个当前路点 P_i 和第i+1个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离,并将第i个当前路点 P_i 和第i+1个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离记为欧氏距离 $l_{(i,i+1)}$,进行如下考察:

若 $l_{(i,i+1)} > L$,则将第i+1个当前路点从列表2中删除;

若 $l_{(i,i+1)} \leq L$,则保留第i+1个当前路点;

设经过步骤3.3.1,列表2中保存的当前路点为M个, $M \leq N$;

步骤3.3.2,将起始路点 P_{init} 即当前路点 P_1 从列表2中删除,即经过步骤3.3.2,列表2中保存的当前路点为M-1,并将该M-1个当前路点记为最优路点;

步骤3.3.3,将M-1个最优路点中的任一个记为最优路点 $P_j, j=1, 2, \dots, M-1$,则以起始路点 P_{init} 为起点、目标路点 P_{goal} 为终点,顺序连接M-1个最优路点构建路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$,该路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$ 构成的路径即为全局路径R;

步骤4,上位机(60)将步骤3得到的全局路径R通过串口发送给下位机(50);

步骤5,下位机(50)通过串口接收全局路径R并通过IO口向驱动模块(40)发出行驶速度为V的驱动指令,驱动模块(40)控制AGV按照全局路径R行使;

步骤6,AGV按照全局路径R行驶,同时上位机(60)不断获取实时信息;

所述实时信息包括激光雷达(10)采集的障碍物位置信息,惯性测量单元(20)采集的AGV加速度信息和AGV角速度信息,编码器(30)采集的AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息;

步骤7,上位机(60)根据步骤6获取的实时信息判断AGV前方 L_2 距离内是否有动态障碍物;

如果有动态障碍物则进入步骤8;

如果没有动态障碍物,AGV继续保持行驶速度V沿着全局路径R行驶并进入步骤9;

步骤8,上位机(60)根据步骤5获取的实时信息进行实时避障;

设动态障碍物在任意时刻占据栅格的个数为K个,K为正整数,将K个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标记为 $X_k, k=1, 2, \dots, K$;

上位机(60)根据步骤5获取的实时信息计算动态障碍物的K个坐标,并判断K个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标 X_k 与全局路径R中任意一个最优路点 P_j 的坐标是否相同:

如果有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物可能会发生碰撞,下位机(50)向驱动模块(40)发出降低行驶速度的驱动指令,驱动模块(40)控制AGV降低当前行驶速度以回避碰撞,特别的当AGV与动态障碍物的距离小于L时,AGV立即停止运动,返回步骤6;

如果没有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物不会发生碰撞,AGV继续保持行驶速度V沿着全局路径R行驶并进入步骤9;

步骤9,判断AGV是否到达导航目标点S:

如果到达导航目标点S,下位机(50)向驱动模块(40)发出停止运行的驱动指令,控制AGV停止运动并进入步骤10;

如果未到达导航目标点S,AGV则返回步骤6;

步骤10,上位机(60)等待监控终端(70)发送的新导航目标点,

如果上位机(60)在30分钟内接收到新导航目标点,则返回步骤3;

如果上位机(60)超过30分钟未接收到新导航目标点,则将整个AGV自动驾驶系统设置为待机状态。

7.根据权利要求7所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶方法,其特征在于,给定环境E的长度 $W=100$ 米,给定环境E的宽度 $H=100$ 米。

8.根据权利要求7所述的一种基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶方法,其特征在于,所述某路点的代价估计 $F(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 经由邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式如下:

$$F(i) = G(i) + H(i)$$

其中, $G(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到邻居路点 P_{in} 的累积代价值, $H(i)$ 为AGV从邻居路点 P_{init} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式分别如下:

$$G(i) = G(i-1) + G(i-1 \rightarrow i)$$

其中, $G(i-1)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到当前路点 P_i 的累积代价值, $G(i-1 \rightarrow i)$ 为AGV从当前路点 P_i 到邻居路点 P_{in} 的代价值 $cost$,取代价值 $cost$ 为恒值,大小为L,在计算 $G(1)$ 的过程中,取 $G(0) = 0$;

$$H(i) = ||P_{in} - P_{goal}||$$

其中, $||P_{in} - P_{goal}||$ 表示邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的欧氏距离。

基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统及导航方法

技术领域

[0001] 本发明涉及移动机器人自动导航技术领域,具体涉及一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统及导航方法。

背景技术

[0002] 伴随着“中国制造2025”和工业4.0的到来,传统制造业生产方式发生巨大的变革。物流业作为制造业的重要组成部分,其运行效率对制造业有着重要的影响,应用AGV来实现生产和搬运功能的集成化和自动化,能够有效提升物流行业的运行效率,进而促进制造业的发展。

[0003] 自动导航技术是AGV的核心技术之一,也是困扰着AGV应用于工业领域的重要限制因素。目前的AGV自动导航系统往往面临着自主能力差,易受环境影响的难题。而激光SLAM(simultaneous localization and mapping)是一种同时定位和建图的技术,不依赖于环境信息。AGV通过激光SLAM就可以在未知环境里利用激光雷达采集的障碍物位置信息以及编码器采集的AGV速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息就可以对进行建图,然后在已建立的地图上进行路径规划,最后通过运动控制就可以实现AGV的自动导航。

[0004] 目前自动导航AGV已成为移动机器人自动导航技术领域的研究热点,并出现了大量设计方案,比如由中国发明专利《磁导航AGV控制系统》(CN109839906 A)可知在地面上铺设磁带就可以实现磁导航AGV的自动导引,但是磁导航AGV只能沿磁带行走;又如中国发明专利公开说明书CN 207742338U于2018年8月17日公开的《激光导航系统》,激光导航AGV在行驶路线上安装位置精确的反射板,激光导航AGV的车载激光传感器会在行走时发出激光束,激光束被多组反射板反射回来,接收器接收反射回来的激光并记录其角度值,通过结合反射板位置分析计算后,可以计算出激光导航AGV的准确坐标。

[0005] 通过以上分析我们可以得出以下几点:

[0006] 1) 磁导航AGV自主性差且易受环境影响,磁导航AGV只能沿磁带行走,无法实时更改任务,易受磁性物质干扰。磁带铺设在地面上,也容易受到损毁,需定期维护。

[0007] 2) 激光导引AGV同样面临着易受环境影响的缺点,由于激光导引AGV需要安装位置精确的反射板,因此激光导引AGV不适用于狭窄的走廊。并且当环境中的光线比较复杂时也不利于激光导引AGV的定位。

[0008] 3) 基于激光SLAM的自动导航AGV首先不依赖于环境信息,能够利用传感器数据构建未知环境的地图,因此并不受未知环境的影响;其次通过局部路径规划可以动态的躲避障碍物。

发明内容

[0009] 针对上述问题,本发明的目的在于提供一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统及导航方法,即首先建立未知环境的地图,然后在已建立好的地图上实现AGV的自动导航与避障。

[0010] 为了实现上述目的,本发明采用以下技术方案:

[0011] 一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统,包括激光雷达、惯性测量单元、编码器、驱动模块、下位机、上位机和监控终端;

[0012] 所述激光雷达与上位机通过串口单向连接,激光雷达采集障碍物位置信息,并将障碍物位置信息传递给上位机;

[0013] 所述惯性测量单元与下位机通过IIC接口单向连接,惯性测量单元采集AGV加速度信息和AGV角速度信息,并将AGV加速度信息和AGV角速度信息传递给下位机;

[0014] 所述编码器与下位机通过GPIO接口单向连接,编码器采集AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息,并将AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息传递给下位机;

[0015] 所述下位机与上位机通过串口双向连接,所述下位机通过IO线与驱动模块单向连接,所述上位机与监控终端通过无线WIFI实现通讯连接;

[0016] 所述下位机将接收到的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息传递给上位机,并接收上位机发布的全局路径R,下位机再将驱动指令发送给驱动模块,驱动模块控制AGV按照全局路径R行驶;

[0017] 所述上位机接收监控终端发布的导航目标点;上位机接收激光雷达传递的障碍物位置信息、下位机传递的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息,按照激光SLAM建图程序来构建二维栅格地图和在已构建的地图上进行路径规划产生全局路径R,并将全局路径R传递给下位机,所述激光SLAM建图程序是指搭载激光雷达、编码器和惯性测量单元传感器,在没有环境先验信息的情况下,在运动的过程中搭建二维栅格地图,同时估计自己的运动;

[0018] 所述监控终端负责向上位机发布导航目标点;

[0019] 所述驱动模块包括驱动电路、左轮驱动电机和右轮驱动电机,驱动电路接受下位机发送的驱动指令后,按照驱动指令控制左轮驱动电机和右轮驱动电机,实现AGV的行驶。

[0020] 优选地,所述上位机为工控机,操作系统为Linux和ROS,包含建图、自动导航及信息传输功能;所述下位机为嵌入式开发板。

[0021] 优选地,所述监控终端为PC机、笔记本、工控机和平板电脑中的一种或多种,监控终端的操作系统为Linux和ROS,包括在线显示地图和AGV导航目标点指定。

[0022] 优选地,所述障碍物位置信息中的障碍物包括动态障碍物和静态障碍物,静态障碍物包括墙面、办公设施、仪器设备,公共设施,动态障碍物包括人、动物和移动的物体;所述障碍物位置信息是指障碍物相对于AGV的距离信息和方位信息。

[0023] 优选地,所述室内AGV自动导航系统中还包括一个供电模块,用于给上位机、下位机、驱动模块、和编码器、惯性测量单元和激光雷达供电。

[0024] 本发明还提供了一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航方法,包括以下步骤:

[0025] 步骤1,静态二维栅格地图的构建;

[0026] 步骤1.1,记AGV所在的给定环境为E, $E=W \times H$,其中W为给定环境E的长度,H为给定环境E的宽度,记AGV在给定环境E中的起始位姿为点O,在给定环境E中启动AGV,并在人为指引下AGV从点O开始运动;

[0027] 步骤1.2,实时信息的获取,包括上位机通过激光雷达获取障碍物位置信息,下位

机通过惯性测量单元采集AGV加速度信息和AGV角速度信息、通过编码器采集AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息；下位机将获取的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息通过串口传递给上位机；

[0028] 步骤1.3,根据步骤1.2获取的实时信息,上位机利用激光SLAM算法在给定环境E中构建栅格边长为L的静态二维栅格地图M1；

[0029] 在静态二维栅格地图M1上以点O为原点建立平面地图坐标系,平面地图坐标系纵轴正方向为AGV车头所指的方向,纵轴正方向顺时针旋转 90° 为横轴正方向；所述静态二维栅格地图M1是一张由黑色栅格和白色栅格组成的地图,以相应的颜色表示每个栅格的占用状态,白色表示栅格为空闲状态,黑色表示栅格为被占用状态；

[0030] 步骤1.4,以每个栅格的对角线相交点在平面地图坐标系上的坐标来表示栅格在平面地图坐标系上的坐标,确定步骤1.3获取的静态二维栅格地图M1上每个白色栅格在平面地图坐标系上的坐标,并将二维栅格地图M1上每个黑色栅格在平面地图坐标系上的坐标设置为固定值($W1, H1$),其中, $W1 > W, H1 > H$:将含有栅格坐标的静态二维栅格地图记为静态二维栅格地图M2；

[0031] 步骤1.5,上位机保存步骤1.4所获取的静态二维栅格地图M2,并通过无线WIFI将静态二维栅格地图M2传递给监控终端；

[0032] 步骤2,监控终端向上位机发布导航目标点并将导航目标点记为点S；

[0033] 步骤3,上位机接收导航目标点S,记AGV当前位置为点G,并以点G为起点、点S为终点在静态二维栅格地图M2上采用A*算法规划出一条安全无碰撞的全局路径R；

[0034] 设AGV轮廓为正方形,边长为 $L1, L1 \leq L$,且AGV只能沿着栅格的边界横向移动或者纵向移动；

[0035] 设静态二维栅格地图M2中的每一个栅格为一个路点,将点G所在栅格设置为起始路点 P_{init} ,将步骤3所述的点S所在栅格设置为目标路点 P_{goal} ；

[0036] 设从起始路点 P_{init} 到达目标路点 P_{goal} 需要循环的次数为N,并产生N个当前路点,将N次循环中的任意一次循环记为循环i、N个当前路点中的任意一个当前路点记为当前路点 $P_i, i=1, 2, \dots, N$,特别的当 $i=1$,取 $P_1=P_{init}$ ；

[0037] 将当前路点 P_i 周围的四个路点中的任意一个路点记为邻居路点 $P_{in}, n=1, 2, 3, 4, i=1, 2, \dots, N$,所述当前路点 P_i 周围的四个路点包括:与当前路点 P_i 在左边相邻的路点、与当前路点 P_i 在右边相邻的路点、与当前路点 P_i 在前边相邻的路点、与当前路点 P_i 在后边相邻的路点；

[0038] 建立列表1和列表2,列表1用来存储起始路点 P_{init} 和邻居路点 P_{in} ,列表2用来存储全局路径R规划过程中得到的当前路点 P_i ；

[0039] 具体的,全局路径R的规划步骤如下：

[0040] 步骤3.1,获取起始路点 P_{init} 和目标路点 P_{goal} ,并将起始路点 P_{init} 放到列表1中；

[0041] 步骤3.2,进行N次循环得到N个当前路点,并将该N个当前路点均存储在表2中,其中任一次循环i的过程如下：

[0042] 步骤3.2.1,如果为第一次循环,则直接将起始路点 P_{init} 视为当前路点 P_1 ；如果不是第一次循环,则将列表1中代价估计 $F(i)$ 值最小的路点视为当前路点 P_i ；

[0043] 步骤3.2.2,将当前路点 P_i 移动到列表2中并从表1中删除；

- [0044] 步骤3.2.3,考察当前路点 P_i 的每个邻居路点 P_{in} ,考察情况如下:
- [0045] 情况1,若邻居路点 P_{in} 已在列表1中或列表2中,忽略该邻居路点 P_{in} ;
- [0046] 情况2,若邻居路点 P_{in} 的坐标值为 $(W1,H1)$,忽略该邻居路点 P_{in} ;
- [0047] 情况3,若邻居路点 P_{in} 既不在列表1中也不在列表2中且该邻居路点坐标值不为 $(W1,H1)$,则计算该邻居路点的代价估计 $F(i)$,并将该邻居路点 P_{in} 加入到列表1中;
- [0048] 步骤3.3,全局路径 R 的形成;
- [0049] 步骤3.3.1对步骤3.2得到的 N 个当前路点依次计算第 i 个当前路点 P_i 和第 $i+1$ 个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离,并将第 i 个当前路点 P_i 和第 $i+1$ 个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离记为欧氏距离 $l_{(i,i+1)}$,进行如下考察:
- [0050] 若 $l_{(i,i+1)} > L$,则将第 $i+1$ 个当前路点从列表2中删除;
- [0051] 若 $l_{(i,i+1)} \leq L$,则保留第 $i+1$ 个当前路点;
- [0052] 设经过步骤3.3.1,列表2中保存的当前路点为 M 个, $M \leq N$;
- [0053] 步骤3.3.2,将起始路点 P_{init} 即当前路点 P_1 从列表2中删除,即经过步骤3.3.2,列表2中保存的当前路点为 $M-1$,并将该 $M-1$ 个当前路点记为最优路点;
- [0054] 步骤3.3.3,将 $M-1$ 个最优路点中的任一个记为最优路点 $P_j, j=1,2,\dots,M-1$,则以起始路点 P_{init} 为起点、目标路点 P_{goal} 为终点,顺序连接 $M-1$ 个最优路点构建路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$,该路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$ 构成的路径即为全局路径 R ;
- [0055] 步骤4,上位机将步骤3得到的全局路径 R 通过串口发送给下位机;
- [0056] 步骤5,下位机通过串口接收全局路径 R 并通过IO口向驱动模块发出行驶速度为 V 的驱动指令,驱动模块控制AGV按照全局路径 R 行使;
- [0057] 步骤6,AGV按照全局路径 R 行驶,同时上位机不断获取实时信息;
- [0058] 所述实时信息包括激光雷达采集的障碍物位置信息,惯性测量单元采集的AGV加速度信息和AGV角速度信息,编码器采集的AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息;
- [0059] 步骤7,上位机根据步骤6获取的实时信息判断AGV前方 L_2 距离内是否有动态障碍物;
- [0060] 如果有动态障碍物则进入步骤8;
- [0061] 如果没有动态障碍物,AGV继续保持行驶速度 V 沿着全局路径 R 行驶并进入步骤9;
- [0062] 步骤8,上位机根据步骤5获取的实时信息进行实时避障;
- [0063] 设动态障碍物在任意时刻占据栅格的个数为 K 个, K 为正整数,将 K 个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标记为 $X_k, k=1,2,\dots,K$;
- [0064] 上位机根据步骤5获取的实时信息计算动态障碍物的 K 个坐标,并判断 K 个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标 X_k 与全局路径 R 中任意一个最优路点 P_j 的坐标是否相同:
- [0065] 如果有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物可能会发生碰撞,下位机向驱动模块发出降低行驶速度的驱动指令,驱动模块控制AGV降低当前行驶速度以回避碰撞,特别的当AGV与动态障碍物的距离小于 L 时,AGV立即停止运动,返回步骤6;
- [0066] 如果没有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物不会发生碰撞,AGV继续保持行驶速

度V沿着全局路径R行驶并进入步骤9;

[0067] 步骤9,判断AGV是否到达导航目标点S:

[0068] 如果到达导航目标点S,下位机向驱动模块发出停止运行的驱动指令,控制AGV停止运动并进入步骤10;

[0069] 如果未到达导航目标点S,AGV则返回步骤6;

[0070] 步骤10,上位机等待监控终端发送的新导航目标点,

[0071] 如果上位机在30分钟内接收到新导航目标点,则返回步骤3;

[0072] 如果上位机超过30分钟未接收到新导航目标点,则将整个AGV自动驾驶系统设置为待机状态。

[0073] 优选地,给定环境E的长度 $W=100$ 米,给定环境E的宽度 $H=100$ 米。

[0074] 优选地,所述某路点的代价估计 $F(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 经由邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式如下:

[0075] $F(i) = G(i) + H(i)$

[0076] 其中, $G(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到邻居路点 P_{in} 的累积代价值, $H(i)$ 为AGV从邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式分别如下:

[0077] $G(i) = G(i-1) + G(i-1 \rightarrow i)$

[0078] 其中, $G(i-1)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到当前路点 P_i 的累积代价值, $G(i-1 \rightarrow i)$ 为AGV从当前路点 P_i 到邻居路点 P_{in} 的代价值 $cost$,取代价值 $cost$ 为恒值,大小为 L ,在计算 $G(1)$ 的过程中,取 $G(0) = 0$;

[0079] $H(i) = ||P_{in} - P_{goal}||$

[0080] 其中, $||P_{in} - P_{goal}||$ 表示邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的欧氏距离。

[0081] 与现有技术相比,本发明提出的一种基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶系统及导航方法,具有以下有益效果:

[0082] 1、本发明提供的导航系统不需要环境的先验信息,利用激光SLAM建立未知环境的地图,然后在已建立好的地图上实现AGV的自动驾驶与避障。

[0083] 2、导航自主能力强,较少的人为参与,只要通过地面监控计算机向上位机发布导航任务,AGV就可以自动完成导航与避障。

[0084] 3、本文所提出的导航系统是基于ROS的,由于ROS的分布式框架和大量的开源代码,有效降低了AGV的开发难度、加快了开发进程。

附图说明

[0085] 图1为本发明中基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶系统结构图。

[0086] 图2为本发明中基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶方法流程图。

具体实施方式

[0087] 以下结合附图并通过具体实施案例来进一步说明本发明的技术方案。

[0088] 图1为本发明中基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶系统结构图。由图1可见,本发明提供的一种基于激光SLAM的室内AGV自动驾驶系统,包括激光雷达10、惯性测量单元20、编码器30、驱动模块40、下位机50、上位机60和监控终端70。

[0089] 在本实施例中,上位机60为工控机,操作系统为Linux和ROS,包含建图、自动导航及信息传输功能。所述下位机50为嵌入式开发板,优先推荐使用STM32F407。所述监控终端70为PC机、笔记本、工控机和平板电脑中的一种或多种,监控终端70) 操作系统为Linux和ROS,包括在线显示地图和AGV导航目标点指定。

[0090] 所述激光雷达10与上位机60通过串口单向连接,激光雷达10采集障碍物位置信息,并将障碍物位置信息传递给上位机60。所述障碍物位置信息中的障碍物包括动态障碍物和静态障碍物,静态障碍物包括墙面、办公设施、仪器设备,公共设施,动态障碍物包括人、动物和移动的物体;所述障碍物位置信息是指障碍物相对于AGV的距离信息和方位信息。

[0091] 所述惯性测量单元20与下位机50通过IIC接口单向连接,惯性测量单元20采集AGV加速度信息和AGV角速度信息,并将AGV加速度信息和AGV角速度信息传递给下位机50。

[0092] 所述编码器30与下位机50通过GPIO接口单向连接,编码器30采集AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息,并将AGV线速度信息、AGV行驶里程信息和AGV循转角度信息传递给下位机50。

[0093] 所述下位机50与上位机60通过串口双向连接,所述下位机50通过IO线与驱动模块40单向连接,所述上位机60与监控终端70通过无线WIFI实现通讯连接;

[0094] 所述下位机50将接收到的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息传递给上位机60,并接收上位机60发布的全局路径R,下位机50再将驱动指令发送给驱动模块40,驱动模块40控制AGV按照全局路径R行驶。

[0095] 所述上位机60接收监控终端70发布的导航目标点。上位机60接收激光雷达10传递的障碍物位置信息、下位机50传递的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息,按照激光SLAM建图程序来构建二维栅格地图和在已构建的地图上进行路径规划产生全局路径R,并将全局路径R传递给下位机50,所述激光SLAM建图程序是指搭载激光雷达、编码器和惯性测量单元传感器,在没有环境先验信息的情况下,在运动的过程中搭建二维栅格地图,同时估计自己的运动。

[0096] 所述监控终端70负责向上位机60发布导航目标点。

[0097] 所述驱动模块40包括驱动电路、左轮驱动电机和右轮驱动电机,驱动电路接受下位机50发送的驱动指令后,按照驱动指令控制左轮驱动电机和右轮驱动电机,实现AGV的行驶。

[0098] 在本实施例中,所述基于激光SLAM的室内AGV自动导航系统中还包括一个供电模块,用于给上位机60、下位机50、驱动模块40、和编码器30、惯性测量单元20和激光雷达10供电。

[0099] 图2为本发明中基于激光SLAM的室内AGV自动导航方法流程图。由图2可见,本发明还提供了一种基于激光SLAM的室内AGV自动导航方法,包括以下步骤:

[0100] 步骤1,静态二维栅格地图的构建。

[0101] 步骤1.1,记AGV所在的给定环境为E, $E=W \times H$,其中W为给定环境E的长度,H为给定环境E的宽度,记AGV在给定环境E中的起始位姿为点O,在给定环境E中启动AGV,并在人为指引下AGV从点O开始运动。在本实施例中,给定环境E的长度 $W=100$ 米,给定环境E的宽度 $H=100$ 米。

[0102] 步骤1.2,实时信息的获取,包括上位机60通过激光雷达10获取障碍物位置信息,下位机50通过惯性测量单元20采集AGV加速度信息和AGV角速度信息、通过编码器30采集AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息;下位机50将获取的AGV加速度信息、AGV角速度信息、AGV线速度信息、AGV循转角度信息和AGV行驶里程信息通过串口传递给上位机60。

[0103] 步骤1.3,根据步骤1.2获取的实时信息,上位机60利用激光SLAM算法在给定环境E中构建栅格边长为L的静态二维栅格地图M1。在本实施例中, $L=1\sim 2$ 米。

[0104] 在静态二维栅格地图M1上以点O为原点建立平面地图坐标系,平面地图坐标系纵轴正方向为AGV车头所指的方向,纵轴正方向顺时针旋转 90° 为横轴正方向。所述静态二维栅格地图M1是一张由黑色栅格和白色栅格组成的地图,以相应的颜色表示每个栅格的占用状态,白色表示栅格为空闲状态,黑色表示栅格为被占用状态。

[0105] 步骤1.4,以每个栅格的对角线相交点在平面地图坐标系上的坐标来表示栅格在平面地图坐标系上的坐标,确定步骤1.3获取的静态二维栅格地图M1上每个白色栅格在平面地图坐标系上的坐标,并将二维栅格地图M1上每个黑色栅格在平面地图坐标系上的坐标设置为固定值($W1, H1$),其中, $W1>W, H1>H$:将含有栅格坐标的静态二维栅格地图记为静态二维栅格地图M2。

[0106] 步骤1.5,上位机60保存步骤1.4所获取的静态二维栅格地图M2,并通过无线WIFI将静态二维栅格地图M2传递给监控终端70。

[0107] 步骤2,监控终端70向上位机60发布导航目标点并将导航目标点记为点S。

[0108] 步骤3,上位机60接受导航目标点S,记AGV当前位置为点G,并以点G为起点、点S为终点在静态二维栅格地图M2上采用A*算法规划出一条安全无碰撞的全局路径R。

[0109] 设AGV轮廓为正方形,边长为 $L1, L1\leq L$,且AGV只能沿着栅格的边界横向移动或者纵向移动。在本实施例中, $L1=0.8\sim 1.8$ 米。

[0110] 设静态二维栅格地图M2中的每一个栅格为一个路点,将点G所在栅格设置为起始路点 P_{init} ,将步骤3所述的点S所在栅格设置为目标路点 P_{goal} 。

[0111] 设从起始路点 P_{init} 到达目标路点 P_{goal} 需要循环的次数为N,并产生N个当前路点,将N次循环中的任意一次循环记为循环i、N个当前路点中的任意一个当前路点记为当前路点 $P_i, i=1, 2, \dots, N$,特别的当 $i=1$,取 $P_1=P_{init}$ 。

[0112] 将当前路点 P_i 周围的四个路点中的任意一个路点记为邻居路点 $P_{in}, n=1, 2, 3, 4, i=1, 2, \dots, N$,所述当前路点 P_i 周围的四个路点包括:与当前路点 P_i 在左边相邻的路点、与当前路点 P_i 在右边相邻的路点、与当前路点 P_i 在前边相邻的路点、与当前路点 P_i 在后边相邻的路点。

[0113] 建立列表1和列表2,列表1用来存储起始路点 P_{init} 和邻居路点 P_{in} ,列表2用来存储全局路径R规划过程中得到的当前路点 P_i 。

[0114] 具体的,全局路径R的规划步骤如下:

[0115] 步骤3.1,获取起始路点 P_{init} 和目标路点 P_{goal} ,并将起始路点 P_{init} 放到列表1中。

[0116] 步骤3.2,进行N次循环得到N个当前路点,并将该N个当前路点均存储在表2中,其中任一次循环i的过程如下:

[0117] 步骤3.2.1,如果为第一次循环,则直接将起始路点 P_{init} 视为当前路点 P_1 ;如果不是

第一次循环,则将列表1中代价估计 $F(i)$ 值最小的路点视为当前路点 P_i ;

[0118] 步骤3.2.2,将当前路点 P_i 移动到列表2中并从表1中删除;

[0119] 步骤3.2.3,考察当前路点 P_i 的每个邻居路点 P_{in} ,考察情况如下:

[0120] 情况1,若邻居路点 P_{in} 已在列表1中或列表2中,忽略该邻居路点 P_{in} ;

[0121] 情况2,若邻居路点 P_{in} 的坐标值为 $(W1, H1)$,忽略该邻居路点 P_{in} ;

[0122] 情况3,若邻居路点 P_{in} 既不在列表1中也不在列表2中且该邻居路点坐标值不为 $(W1, H1)$,则计算该邻居路点的代价估计 $F(i)$,并将该邻居路点 P_{in} 加入到列表1中。

[0123] 步骤3.3,全局路径 R 的形成。

[0124] 步骤3.3.1对步骤3.2得到的 N 个当前路点依次计算第 i 个当前路点 P_i 和第 $i+1$ 个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离,并将第 i 个当前路点 P_i 和第 $i+1$ 个当前路点 P_{i+1} 的欧氏距离记为欧氏距离 $l_{(i,i+1)}$,进行如下考察:

[0125] 若 $l_{(i,i+1)} > L$,则将第 $i+1$ 个当前路点从列表2中删除;

[0126] 若 $l_{(i,i+1)} \leq L$,则保留第 $i+1$ 个当前路点;

[0127] 设经过步骤3.3.1,列表2中保存的当前路点为 M 个, $M \leq N$;

[0128] 步骤3.3.2,将起始路点 P_{init} 即当前路点 P_1 从列表2中删除,即经过步骤3.3.2,列表2中保存的当前路点为 $M-1$,并将该 $M-1$ 个当前路点记为最优路点;

[0129] 步骤3.3.3,将 $M-1$ 个最优路点中的任一个记为最优路点 $P_j, j=1, 2, \dots, M-1$,则以起始路点 P_{init} 为起点、目标路点 P_{goal} 为终点,顺序连接 $M-1$ 个最优路点构建路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$,该路径队列 $P(P_{init}, P_1, \dots, P_j, \dots, P_{M-1}, P_{goal})$ 构成的路径即为全局路径 R 。

[0130] 步骤4,上位机60将步骤3得到的全局路径 R 通过串口发送给下位机50。

[0131] 步骤5,下位机50通过串口接收全局路径 R 并通过IO口向驱动模块40发出行驶速度为 V 的驱动指令,驱动模块40控制AGV按照全局路径 R 行使。

[0132] 步骤6,AGV按照全局路径 R 行驶,同时上位机60不断获取实时信息。

[0133] 所述实时信息包括激光雷达10采集的障碍物位置信息,惯性测量单元20采集的AGV加速度信息和AGV角速度信息,编码器30采集的AGV线速度信息、AGV行驶距离信息和AGV循转角度信息。

[0134] 步骤7,上位机60根据步骤6获取的实时信息判断AGV前方 $L2$ 距离内是否有动态障碍物:

[0135] 如果有动态障碍物则进入步骤8;

[0136] 如果没有动态障碍物,AGV继续保持行驶速度 V 沿着全局路径 R 行驶并进入步骤9。

[0137] 在本实施例中, $L2=1$ 米。

[0138] 步骤8,上位机60根据步骤5获取的实时信息进行实时避障。

[0139] 设动态障碍物在任意时刻占据栅格的个数为 K 个, K 为正整数,将 K 个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标记为 $X_k, k=1, 2, \dots, K$;

[0140] 上位机60根据步骤5获取的实时信息计算动态障碍物的 K 个坐标,并判断 K 个栅格中的任意一个栅格在平面地图坐标系上的坐标 X_k 与全局路径 R 中任意一个最优路点 P_j 的坐标是否相同:

[0141] 如果有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物可能会发生碰撞,下位机50向驱动模块

40发出降低行驶速度的驱动指令,驱动模块40控制AGV降低当前行驶速度以回避碰撞,特别的当AGV与动态障碍物的距离小于L时,AGV立即停止运动,返回步骤6;

[0142] 如果没有相同的坐标,表明AGV与动态障碍物不会发生碰撞,AGV继续保持行驶速度V沿着全局路径R行驶并进入步骤9。

[0143] 在本实施例中,K最大取值为10。

[0144] 步骤9,判断AGV是否到达导航目标点S:

[0145] 如果到达导航目标点S,下位机50向驱动模块40发出停止运行的驱动指令,控制AGV停止运动并进入步骤10;

[0146] 如果未到达导航目标点S,AGV则返回步骤6;

[0147] 步骤10,上位机60等待监控终端70发送的新导航目标点,

[0148] 如果上位机60在30分钟内接收到新导航目标点,则返回步骤3;

[0149] 如果上位机60超过30分钟未接收到新导航目标点,则将整个AGV自动驾驶系统设置为待机状态。

[0150] 至此,一次导航结束。

[0151] 在步骤3.2.1中,所述某路点的代价估计 $F(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 经由邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式如下:

[0152] $F(i) = G(i) + H(i)$

[0153] 其中, $G(i)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到邻居路点 P_{in} 的累积代价值, $H(i)$ 为AGV从邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的代价估计,计算式分别如下:

[0154] $G(i) = G(i-1) + G(i-1 \rightarrow i)$

[0155] 其中, $G(i-1)$ 为AGV从起始路点 P_{init} 到当前路点 P_i 的累积代价值, $G(i-1 \rightarrow i)$ 为AGV从当前路点 P_i 到邻居路点 P_{in} 的代价值 $cost$,取代价值 $cost$ 为恒值,大小为L,在计算 $G(1)$ 的过程中,取 $G(0) = 0$;

[0156] $H(i) = ||P_{in} - P_{goal}||$

[0157] 其中, $||P_{in} - P_{goal}||$ 表示邻居路点 P_{in} 到目标路点 P_{goal} 的欧氏距离。

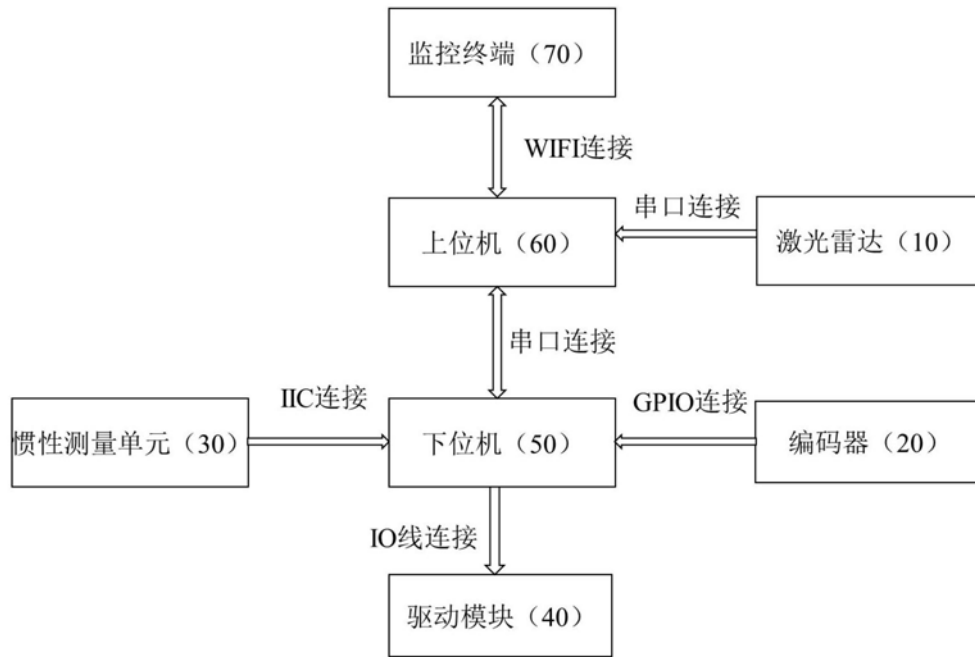


图1

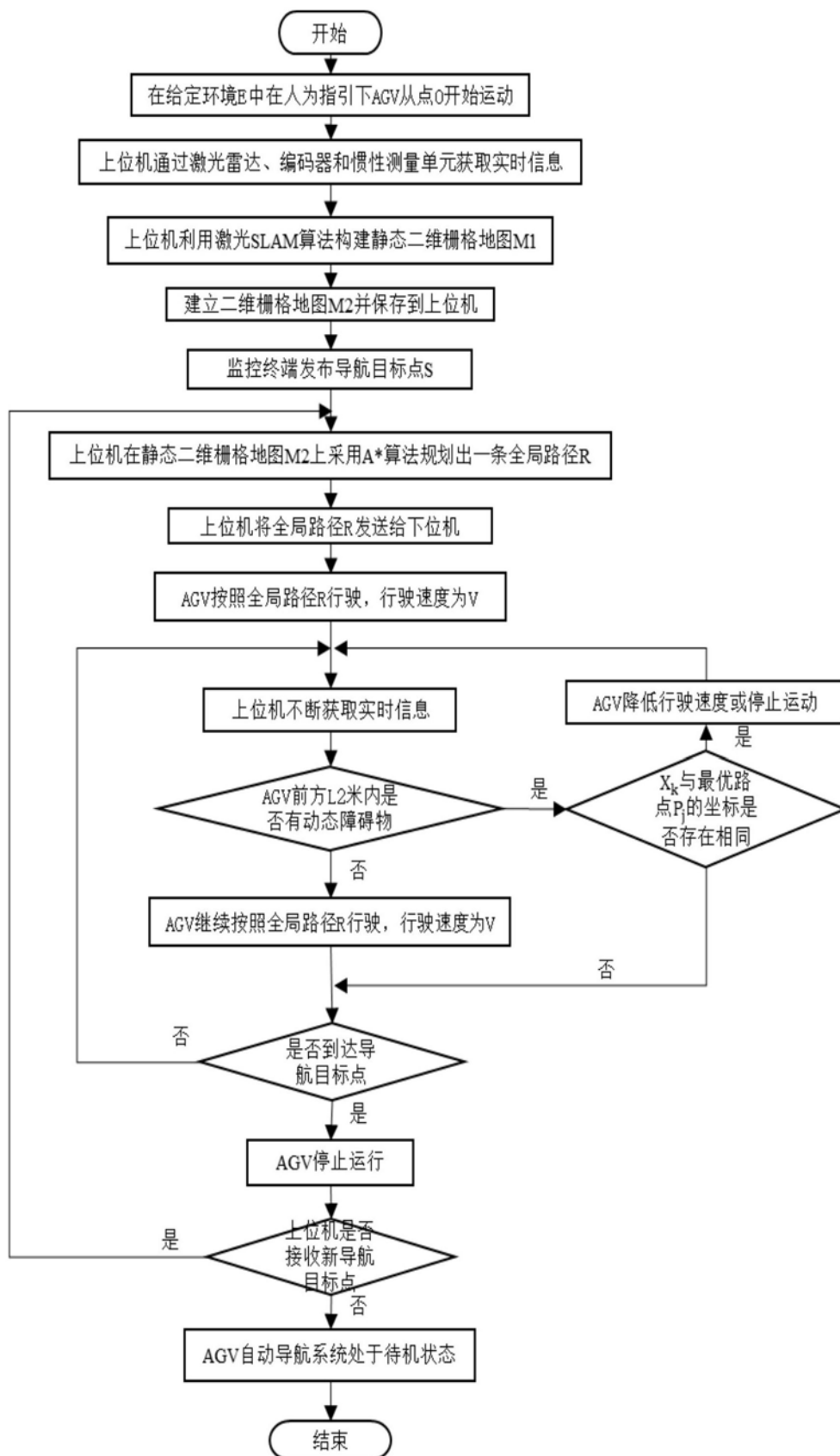


图2