



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108132675 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201711177545.X

(22)申请日 2017.11.23

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108132675 A

(43)申请公布日 2018.06.08

(73)专利权人 东南大学

地址 210096 江苏省南京市玄武区四牌楼2号

(72)发明人 张志胜 赵坤坤 戴敏 张增雷

(74)专利代理机构 南京众联专利代理有限公司  
32206

代理人 蒋昱

(51)Int.Cl.

G05D 1/10(2006.01)

(56)对比文件

CN 104751145 B, 2017.10.13,

CN 106873627 A, 2017.06.20,

CN 105389988 A, 2016.03.09,

CN 103389733 A, 2013.11.13,

CN 106843264 A, 2017.06.13,

JP 2014067406 A, 2014.04.17,

CN 106887004 A, 2017.06.23,

CN 102097860 A, 2011.06.15,

王燕清等.基于启发式概率Hough变换的道路边缘检测方法.《计算机科学》.2013,

邸男等.提取直线特征实现机场跑道实时检测.《光学精密工程》.2009,

Saeid Fazli等.Wall following and obstacle avoidance results from a multi-DSP sonar ring on a mobile robot.

《Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation》.2005,

审查员 杨幸

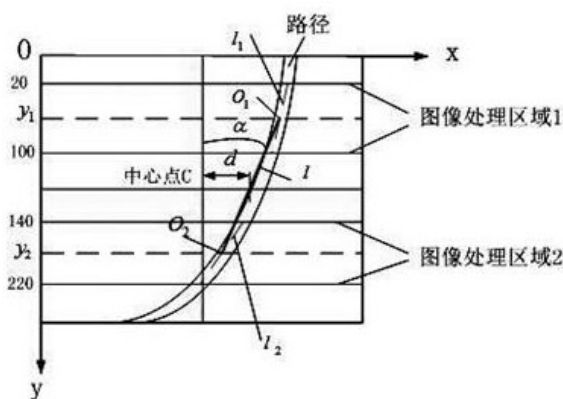
权利要求书2页 说明书6页 附图5页

### (54)发明名称

一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法

### (57)摘要

本发明公开了一种基于旋翼无人机的用于工厂安全巡视的自主巡航和智能避障方法,使用摄像头拍摄路径标识线,并选定采样区域;对二值化标识线进行Canny运算处理,获取标识线边缘,使用概率霍夫变换检测图像中线段;判断线段数目,若线段数目为4,则进入直角弯检测,否则进入曲线检测;根据不同的检测结果进行自主巡航;飞行过程中使用深度图数据、障碍物距离数据和超声波数据获取障碍物数据;采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法自主避障。本发明能够根据标识线的实际形状运用不同算法对图像处理,实现对路径跟踪;基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法,避免了人工势场法的不足,使无人机遇到障碍物时能够沿障碍物边缘运动,直到预定地点。



1. 一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法,利用机器视觉技术和避障算法进行自主巡航和避障,包括以下步骤,其特征在于:

步骤1:使用Guidance摄像头拍摄路径标识线,对图像滤波、阈值分割、形态学运算一系列处理,达到地面作为背景、标识线作为目标的二值化图像;

步骤2:对步骤1得到的二值化图像Canny运算处理,获取标识线边缘,使用概率霍夫变换检测图像中线段数目;

步骤3:判断步骤2中检测到的线段数目,如果线段数目为4则进入直角弯检测程序,否则进入曲线检测程序;

所述的曲线检测程序如下:

步骤3.1:指针遍历步骤1得到的二值化图像,提取取样区域内标识线左右边缘坐标,分别记为 $L(i, j)$ 和 $R(i, j)$ ,并计算第 $j$ 行标识线中心点坐标:

$$C(i, j) = C\left(\frac{L_i + R_i}{2}, j\right);$$

其中, $i$ 和 $j$ 表示图像的行和列;

步骤3.2:分别对图像处理区域1和图像处理区域2重复上述步骤 $N_1$ 次和 $N_2$ 次,得到采样区域中点坐标,利用最小二乘法拟合出图像处理区域1和2中的中心线 $l_1$ 和 $l_2$ ;

步骤3.3:将 $l_1$ 和 $l_2$ 中心点连接起来得到直线1,即为路径拟合直线,直线1表示为, $x_1, y_1$ 为 $l_1$ 的中点坐标; $x_2, y_2$ 为 $l_2$ 的中点坐标, $a$ 为直线1的斜率:

$$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}x + (y_1 - ax_1);$$

步骤3.4:利用拟合直线相对于图像中心的位置得到标识线相对于无人机中心的偏航角和偏移距离:

$$\alpha = \begin{cases} -(\frac{\pi}{2} - \arctan a) & a > 0 \\ -(\arctan(-a) - \frac{\pi}{2}) & a \leq 0 \end{cases};$$

$$d = \left(\frac{120 - b}{a}\right) - 160;$$

其中, $b = y_1 - ax_1$ ;

所述的直角弯检测程序如下:

步骤3.5:利用概率霍夫变换函数提取线段的端点坐标,分别计算四条线段的方程 $l_1, l_2, l_3, l_4$ ;

步骤3.6:利用线段与 $x$ 轴夹角判断四条线段是否两两平行,设平行角度差值为 $\varepsilon\alpha = 1^\circ$ ,当 $\varepsilon\alpha \geq ||\alpha_2| - |\alpha_1||$ 满足条件时,说明线段 $l_1$ 和 $l_2$ 平行,否则不平行;

步骤3.7:根据四条线段的端点坐标求平均得两条拟合线段的端点坐标,得出拟合线段 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ 的方程,并计算拟合线段斜率 $k_f$ 和夹角 $\alpha_f$ ;

$$\alpha_f = \arctan\left(\frac{k_{f1} - k_{f2}}{k_{f1} \times k_{f2} + 1}\right);$$

其中,  $k_{f1}$  和  $k_{f2}$  为拟合线段  $l_{f1}$  和  $l_{f2}$  的斜率;

步骤3.8: 进一步比较拟合线段的中心位置与设定阈值之间的关系, 判断无人机所处直角弯的状态: 拐弯前、拐弯后、左直角弯、右直角弯; 设置  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_{yaw}$  及相关参数对飞行控制, 其中  $v_x$  为无人机在 x 轴,  $v_y$  为 y 轴的速度,  $v_{yaw}$  为偏航角转速;

步骤4: 无人机正常工作在 Ground 坐标系下, 当  $M_d[F] \leq 4m$  时, 飞机进入预备避障程序,  $M_d[F]$  为无人机前面测得的障碍物距离;

步骤5: 采用基于 Follow-Wall 行为的不完全人工势场法自主避障, 直到绕过障碍物;

所述的智能避障程序如下:

步骤5.1: 使用深度图数据、障碍物距离数据和超声波数据, 设计障碍物最小距离选择法;

步骤5.2: 建立避障数据表, 采用基于 Follow-Wall 行为的不完全人工势场法进行智能避障, 当无人机到达 P 点时, 选择一个合适的方向, 沿着障碍物边缘行动, 直至无人机绕过障碍物到达指定地点;

避障数据表中主要数据有:

Yaw: Ground 系中机体航向的偏航角;

YawAngle: Ground 系中目标位置相对于无人机位置的偏角;

$M_d[]$ : 前 F 后 B 左 L 右 R 下 D 测得的障碍物;

State: 避障程序中无人机所处的状态。

2. 根据权利要求1所述的一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法, 其特征在于: 所述工厂巡视无人机为四旋翼无人机或六旋翼无人机。

## 一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及路径巡航以及智能避障技术领域,特别是涉及一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法。

### 背景技术

[0002] 安全巡检是保障工厂正常生产的前提,合格可靠的巡视系统是对工厂线路、设备等实现量化管理的手段,是实现企业信息化管理的重要措施。传统工厂巡检存在以下弊端:部分巡检地点环境恶劣,可能对人员造成身体、心理等影响;人工巡检信息手动输入,存在工作量大、速度慢、易出错、数据管理不便等问题;长时间巡检造成人员疲惫,降低巡检质量等。

[0003] 为解决上述问题,移动无人机、安防巡逻无人机、无人机等系统应运而生。美国公司开发的安保无人机“安全卫士”,其在DJI S-1000+的基础上进行改进,添加了备用计算机、摄像机等外部硬件,可以实现智能避障、自主飞行等功能。国内使用无人机对铁路线路进行空中巡检,降低劳动强度。但对于一般的工厂车间室内巡检,由于GPS信号较差,借助GPS导航定位实现自主飞行存在不足。本发明采用机器视觉进行路径巡航,实现无人机室内自主避障。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述存在的问题,本发明提供一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法,本发明使用曲线检测方法与直角弯检测方法对标识线分别处理,控制程序流程,使无人机根据不同路径状态巡航,并采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法,避免了人工势场法的不足,使无人机遇到障碍物时能够沿障碍物边缘运动,直至到达预定地点,为达此目的,本发明提供一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法,利用机器视觉技术和避障算法进行自主巡航和避障,包括以下步骤:

[0005] 步骤1:使用Guidance摄像头拍摄路径标识线,对图像滤波、阈值分割、形态学运算等一系列处理,达到地面作为背景、标识线作为目标的二值化图像;

[0006] 步骤2:对步骤1得到的二值化图像Canny运算处理,获取标志线边缘,使用概率霍夫变换检测图像中线段数目;

[0007] 步骤3:判断步骤2中检测到的线段数目,如果线段数目为4则进入直角弯检测程序,否则进入曲线检测程序;

[0008] 步骤4:无人机正常工作在Ground坐标系下,当 $M_d[F] \leq 4m$ 时,飞机进入预备避障程序。 $M_d[F]$ 为无人机前面测得的障碍物距离;

[0009] 步骤5:采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法自主避障,直到绕过障碍物。

[0010] 本发明的进一步改进,所述工厂巡视无人机为四旋翼无人机或六旋翼无人机。

[0011] 本发明的进一步改进,所述的步骤3中曲线检测方法如下:

[0012] 步骤3.1: 指针遍历步骤1得到的二值化图像, 提取取样区域内标识线左右边缘坐标, 分别记为 $L(i, j)$ 和 $R(i, j)$ , 并计算第 $j$ 行标识线中心点坐标:

$$[0013] \quad C(i, j) = C\left(\frac{L_i + R_i}{2}, j\right);$$

[0014] 其中,  $i$ 和 $j$ 表示图像的行和列;

[0015] 步骤3.2: 分别对图像处理区域1和图像处理区域2重复上述步骤 $N_1$ 次和 $N_2$ 次, 得到采样区域中点坐标, 利用最小二乘法拟合出图像处理区域1和2中的中心线 $l_1$ 和 $l_2$ ;

[0016] 步骤3.3: 将 $l_1$ 和 $l_2$ 中心点连接起来得到直线1, 即为路径拟合直线, 直线1表示为:

$$[0017] \quad y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}x + (y_1 - ax_1);$$

[0018] 步骤3.4: 利用拟合直线相对于图像中心的位置得到标识线相对于无人机中心的偏航角和偏移距离:

$$[0019] \quad \alpha = \begin{cases} -(\frac{\pi}{2} - \arctan a) & a > 0 \\ -(\arctan(-a) - \frac{\pi}{2}) & a \leq 0 \end{cases};$$

$$[0020] \quad d = \left(\frac{120 - b}{a}\right) - 160;$$

[0021] 其中,  $b = y_1 - ax_1$ 。

[0022] 本发明的进一步改进, 所述的步骤3中直角弯检测方法如下:

[0023] 步骤3.5: 利用概率霍夫变换函数提取线段的端点坐标, 分别计算四条线段的方程 $l_1, l_2, l_3, l_4$ ;

[0024] 步骤3.6: 利用线段与 $x$ 轴夹角判断四条线段是否两两平行, 设平行角度差值为 $\varepsilon\alpha = 1^\circ$ , 当 $\varepsilon\alpha \geq ||\alpha_2| - |\alpha_1||$ 满足条件时, 说明线段 $l_1$ 和 $l_2$ 平行, 否则不平行;

[0025] 步骤3.7: 根据四条线段的端点坐标求平均得两条拟合线段的端点坐标, 得出拟合线段 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ 的方程, 并计算拟合线段斜率 $k_f$ 和夹角 $\alpha_f$ :

$$[0026] \quad \alpha_f = \arctan\left(\frac{k_{f1} - k_{f2}}{k_{f1} \times k_{f2} + 1}\right);$$

[0027] 其中,  $k_{f1}$ 和 $k_{f2}$ 为拟合线段 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ 的斜率;

[0028] 步骤3.8: 进一步比较拟合线段的中心位置与设定阈值之间的关系, 判断无人机所处直角弯的状态: 拐弯前、拐弯后、左直角弯、右直角弯; 设置 $v_x, v_y, v_{yaw}$ 相关参数对飞行控制。

[0029] 本发明的进一步改进, 所述的步骤5中智能避障方法如下:

[0030] 步骤5.1: 使用深度图数据、障碍物距离数据和超声波数据, 设计障碍物最小距离选择法;

[0031] 步骤5.2: 建立避障数据表, 采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法进行智能避障, 当无人机到达P点时, 选择一个合适的方向, 沿着障碍物边缘行动, 直至无人机绕

过障碍物到达指定地点；

[0032] 避障数据表中主要数据有：

[0033] Yaw:Ground系中机体航向的偏航角；

[0034] YawAngle:Ground系中目标位置相对于无人机位置的偏角；

[0035] Md[ ]:前F后B左L右R下D测得的障碍物；

[0036] State:避障程序中无人机所处的状态。

[0037] 本发明提供一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法，使用摄像头拍摄路径标识线，并选定采样区域；对二值化标识线进行Canny运算处理，获取标识线边缘，使用概率霍夫变换检测图像中线段；判断线段数目，若线段数目为4，则进入直角弯检测，否则进入曲线检测；根据不同的检测结果进行自主巡航；飞行过程中使用深度图数据、障碍物距离数据和超声波数据获取障碍物数据；采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法自主避障。本发明能够根据标识线的实际形状运用不同算法对图像处理，实现对路径跟踪；基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法，避免了人工势场法的不足，使无人机遇到障碍物时能够沿障碍物边缘运动，直到预定地点。

## 附图说明

[0038] 图1为本发明路径标识线简图；

[0039] 图2为本发明直角弯图像简图；

[0040] 图3为本发明导航流程图；

[0041] 图4为本发明障碍物最小距离选择法流程图；

[0042] 图5为本发明巡航避障图；

[0043] 图6为本发明不完全人工势场法避障流程图。

## 具体实施方式

[0044] 下面结合附图与具体实施方式对本发明作进一步详细描述：

[0045] 本发明提供一种工厂巡视无人机自主路径巡航以及智能避障方法，本发明使用曲线检测方法与直角弯检测方法对标识线分别处理，控制程序流程，使无人机根据不同路径状态巡航，并采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法，避免了人工势场法的不足，使无人机遇到障碍物时能够沿障碍物边缘运动，直至到达预定地点。

[0046] 一种用于工厂巡检的无人机自主巡航和智能避障方法，具体包括以下步骤：

[0047] 步骤1:Guidance底部摄像头拍摄路径标识线如图1所示，图像坐标系为x0y，x正方向朝右，y正方向朝下。图像宽高为320X240像素，在图像上下半部分各选取处理区域1和处理区域2作为标识线边缘坐标提取区域。对图像滤波、阈值分割、形态学运算等一系列处理，达到地面作为背景、标识线作为目标的二值化图像。

[0048] 步骤2:对步骤1得到的二值化图像Canny运算处理，获取标志线边缘，使用概率霍夫变换检测图像中线段数目。如果线段数目为4则进入如图2所示直角弯检测程序，否则进入曲线检测程序。

[0049] 其中导航流程图如图3所示；

[0050] 曲线导航步骤：

[0051] (1) 采用指针遍历图像的方法,对上述步骤1中选定区域内标识线左右边缘坐标提取。假设实际图像处理中可以检测到的路径是在第j行获取的 ( $20 \leq j < 100$ ), 图像处理区域1中第j行的左边缘坐标 $L(i, j)$ , 右边缘坐标为 $R(i, j)$ , 则第j行标识线中心点坐标为:

$$[0052] \quad C(i, j) = C\left(\frac{L_i + R_i}{2}, j\right);$$

[0053] 重复上述 (1)  $N_1$ 次得到图像处理区域1中路径中点坐标, 重复 $N_2$ 次得到图像处理区域2中路径中点坐标。

[0054] (2) 根据上述得到的一系列路径中心点坐标, 利用最小二乘法拟合出图像处理区域1和2中的中心线 $l_1$ 和 $l_2$ , 方程分别为:

$$[0055] \quad \begin{cases} y_1 = a_1 x_1 + b_1 \\ y_2 = a_2 x_2 + b_2 \end{cases};$$

[0056] (3) 将 $l_1$ 和 $l_2$ 中心点 $O_1(x_1, y_1) = (\frac{y_1 - b_1}{a_1}, \frac{\sum j}{N_1})$ 和 $O_2(x_2, y_2) = (\frac{y_2 - b_2}{a_2}, \frac{\sum j}{N_2})$ 连接起来

得到直线1, 即为路径拟合直线, 得到方程:

$$[0057] \quad y = 4.72441x - 723.334;$$

[0058] (4) 在图像坐标系中, 中心点C即为无人机位置, 路径相对无人机的偏航角 $\alpha$ 和偏航距离d分别为:

$$[0059] \quad \begin{cases} \alpha = -11.9512^\circ \\ d = 18.5058 \end{cases};$$

[0060] 在此规定直线1在图像中相对于y负半轴左偏时 $\alpha < 0$ , 反之 $\alpha > 0$ ; 直线1在中心点C右边时 $d > 0$ , 反之 $d < 0$ 。

[0061] 直角弯导航步骤:

[0062] (1) 假设概率霍夫变换检测到图像中线段数目为4, 设四条线段分别为 $l_1, l_2, l_3, l_4$ , 利用概率霍夫变换函数提取线段的端点坐标, 分别为 $L1(i, j), R1(i, j), L2(i, j), R2(i, j), L3(i, j), R3(i, j), L4(i, j), R4(i, j)$ , 其中与x轴近似垂直的线段上端点坐标用L, 下端点坐标用R表示。进一步求得每条线段的斜率 $k_1, k_2, k_3, k_4$ , 并求出线段与x轴夹角 $\alpha$ 。

$$[0063] \quad k = \frac{R_j - L_j}{R_i - L_i};$$

$$[0064] \quad \alpha = \arctan k;$$

[0065] 对于与x轴近似垂直的线段, 由于图像尺寸为 $320 \times 240$ 像素, 最小单位为1像素点, 因此当 $R_i = L_i$ 时;

$$[0066] \quad k = \frac{240}{1} = 240;$$

[0067] (2) 利用线段与x轴夹角判断四条线段是否两两平行(或近似平行)。设判断平行角度差值为 $\varepsilon\alpha = 1^\circ$ , 当 $\varepsilon\alpha \geq ||\alpha_2| - |\alpha_1||$ 满足条件时, 说明线段 $l_1$ 和 $l_2$ 平行, 否则不平行, 调出直角弯导航函数。同理可证明线段 $l_3$ 和 $l_4$ 的平行度。

[0068] (3) 如果线段两两平行, 将四条线段的端点坐标两两求平均, 得到端点坐标分别为

$L_{f1}(i, j), R_{f1}(i, j), L_{f2}(i, j), R_{f2}(i, j)$ , 进而得到两条拟合线段 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ , 求拟合线段斜率 $k_f$ 和夹角 $\alpha_f$ :

$$[0069] \quad \alpha_f = \arctan\left(\frac{k_{f1} - k_{f2}}{k_{f1} \times k_{f2} + 1}\right);$$

[0070] 如果 $\alpha_f \geq 85^\circ$ , 说明 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ 近乎垂直, 说明无人机检测到直角弯。

[0071] (4) 根据拟合线段的位置与像素阈值 $T_x$ 和 $T_y$ 的关系判断无人机相对直角弯的状态。设拟合线段 $l_{f1}$ 和 $l_{f2}$ 的中心坐标 $C_{f1}(i, j)$ 和 $C_{f2}(i, j)$ ,  $x$ 轴方向像素阈值 $T_x = 40$ ,  $y$ 轴方向像素阈值 $T_y = 40$ , 当中心点同方向坐标差大于阈值时视为直角弯有效。两坐标对比得出状态如下表:

状态代号	坐标对比情况	直角弯状态
1	$180 \leq C_{f1}(j) \text{ 且 } T_y \leq C_{f2}(j) - C_{f1}(j)$	转弯前, 但继续前进
2	$T_x \leq C_{f2}(i) - C_{f1}(i) \text{ 且 } T_y \leq C_{f2}(j) - C_{f1}(j)$	进入左转弯前
3	$-T_x \geq C_{f2}(i) - C_{f1}(i) \text{ 且 } T_y \leq C_{f2}(j) - C_{f1}(j)$	进入右转弯前
4	$-T_y \geq C_{f2}(j) - C_{f1}(j)$	完成直角弯后, 前进
5	$T_x \geq  C_{f2}(i) - C_{f1}(i)  \text{ 或 } T_y \geq  C_{f2}(j) - C_{f1}(j) $	出现异常

[0073] (5) 利用上述方法计算得到直角弯角度 $\alpha = 88.321^\circ$ , 直角弯状态为2进入左转弯前。

[0074] 步骤3: 无人机正常工作在Ground坐标系下。当 $M_d[F] \leq 4m$ 时, 飞机进入预备避障程序如图6所示。采用基于Follow-Wall行为的不完全人工势场法如图5所示自主避障, 直到绕过障碍物。

[0075] 智能避障方法步骤如下:

[0076] (1) 无人机获取障碍物距离数据。

[0077] 本发明中用到的障碍物数据有深度图数据、障碍物距离数据和超声波数据。针对障碍物数据的不稳定性, 本发明设计障碍物最小距离选择法如图4所示。

[0078] 每次计算得出的最小障碍物距离为 $d$ , 融合的障碍物距离为 $d_{ob}$ , 超声波距离数据为 $d_{ul}$ , 最终最小障碍物距离为 $d_{min}$ 。最小距离选择法过程如下:

[0079] a. 获得 $d_{ob}$ 和 $d_{ul}$ , 并判断两者大小, 如果 $d_{ob} < 10$ 或者 $d_{ul} > 0$ , 比较两者大小, 取两者较小者为 $d$ 。



[0080] b. 如果 $d_{ob} < 10$ 或者 $d_{ul} < 0$ , 取 $d_{ob}$ 为 $d$ 。

[0081] c. 如果 $d_{ob} > 10$ 或者 $d_{ul} > 0$ , 取 $d_{ul}$ 为 $d$ 。

[0082] d. 重复上述步骤10次, 取其中最小值作为最终的 $d_{min}$ 。

[0083] 使用深度图获取障碍物距离数据。对深度图做图像滤波、灰度转换、形态学运算等操作; 设置像素阈值, 检测连通区域像素个数与阈值关系, 以判断是否遇到了障碍物。在2.5米内, 障碍物距离和像素灰度值近似成正比例关系, 即:

$$[0084] \quad d_{ob} \approx \frac{v_{gray}}{100} m ;$$

[0085]  $d_{ob}$ 为障碍物距离,  $v_{gray}$ 指深度图中灰色像素的平均像素值。

[0086] (2) 在Ground坐标系下, 利用障碍物距离数据判断飞行状态。当 $M_d[F] \leq 4m$ 时, 飞机进入预备避障程序, 此时飞机前进速度Speed从2m/s降为0.7m/s。预备避障程序中 $M_d[i] \leq 2.5m$ 或者深度图检测到障碍物会使 $C[i]$ 置true, 此时表明系统进入避障程序。

[0087] (3) 更新YawAngle, 使 $Yaw = YawAngle$ 。判断 $C[R]$ 值,  $C[R] = true$ 说明此时无人机右方有障碍物, 无人机将左转,  $State = TurnLeft$ ;  $C[R] = false$ 说明右方没有障碍物, 无人机将右转,  $State = TurnRight$ 。

[0088] (4) 假设 $C[R] = false$ 。增加Yaw, 无人机右转, 直到 $C[F] = false$ 。由于螺旋桨的旋转范围较大, 此时 $Yaw = Yaw + 10^\circ$ , 然后 $State = GoAfterRight$ 。

[0089] (5) 判断 $C[L]$ , 若 $C[L] = true$ , 则无人机向前飞, 直到 $C[L] = false$ 。此时为确保无人机完全飞过障碍物, 还应让无人机继续前进1.5m。

[0090] (6) 判断YawAngle和Yaw, 并令 $Yaw = YawAngle$ , 以改变无人机航向角。无人机向前飞, 直到目标点。若到达目标点之前又遇到障碍物, 重复上述(3), 继续进入避障程序。

[0091] 以上所述, 仅是本发明的较佳实施例而已, 并非是对本发明作任何其他形式的限制, 而依据本发明的技术实质所作的任何修改或等同变化, 仍属于本发明所要求保护的范围。

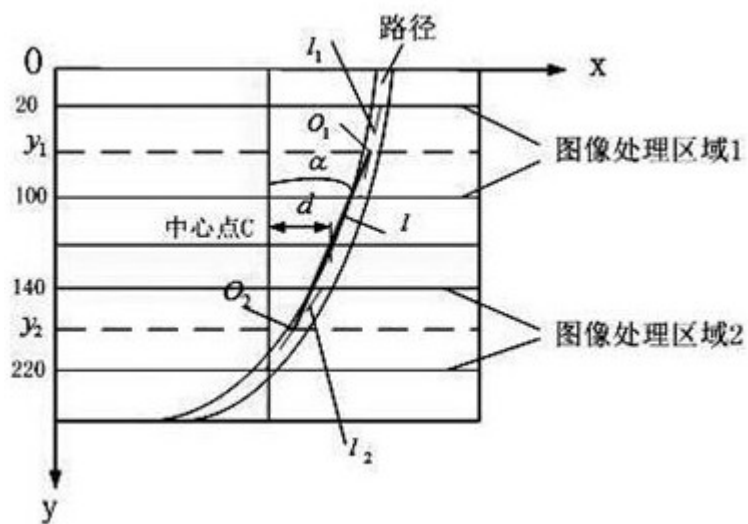


图1

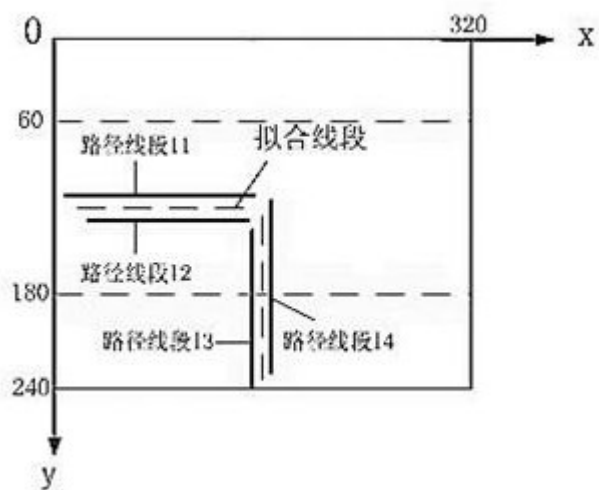


图2

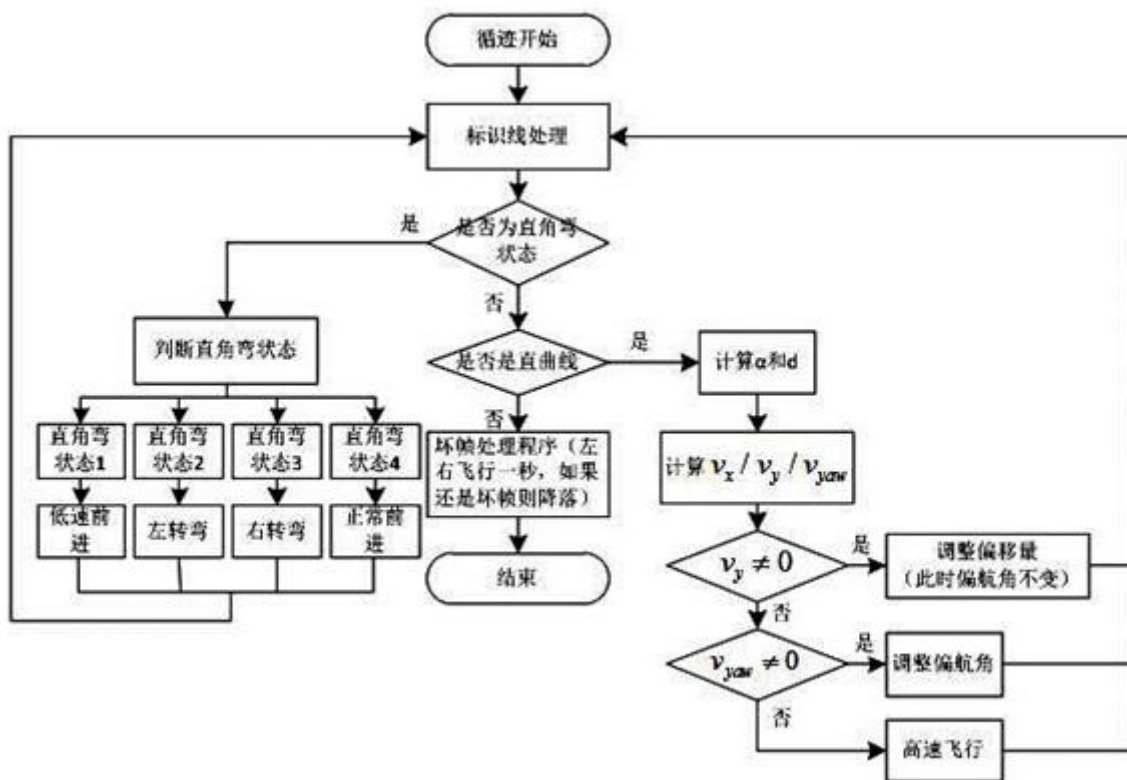


图3

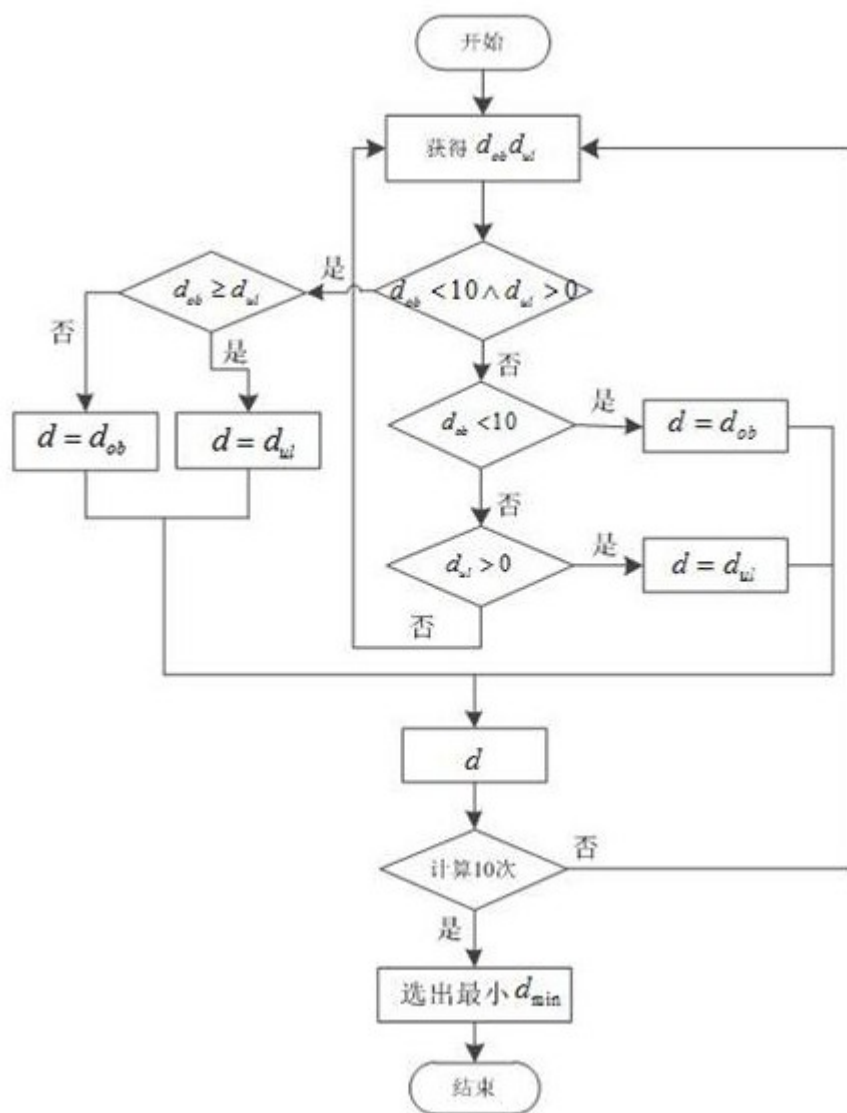


图4

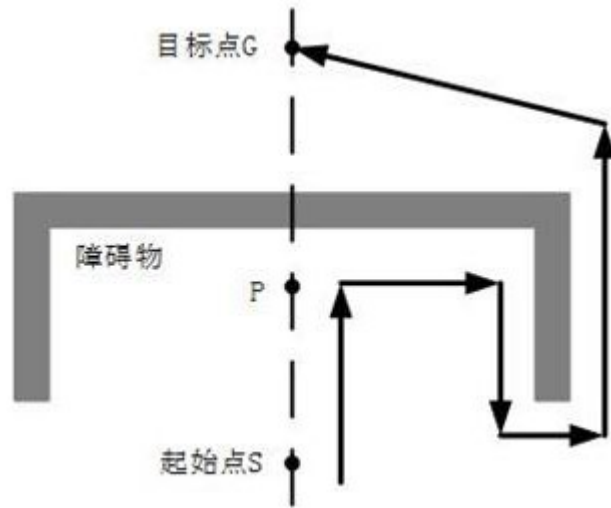


图5

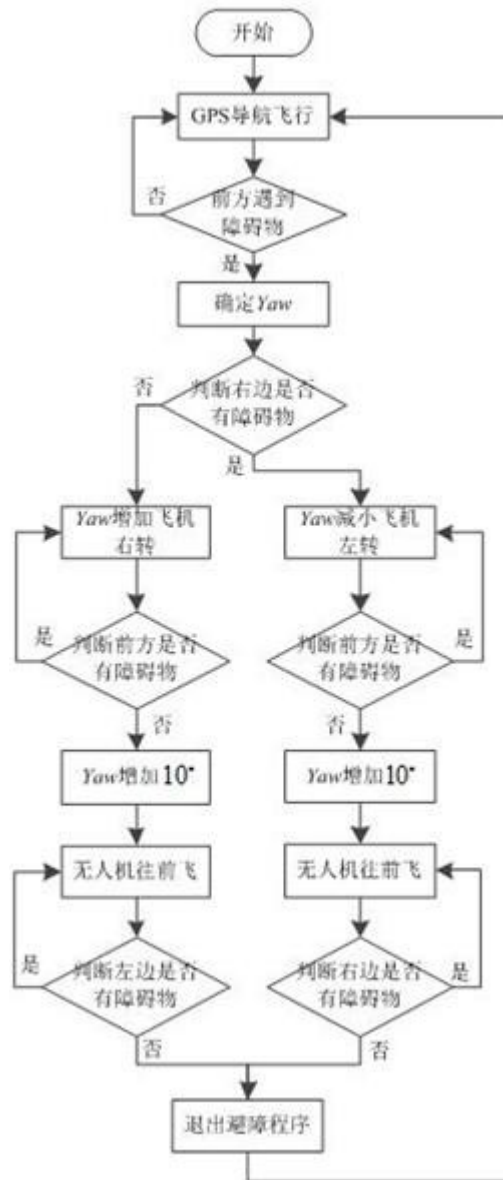


图6