

基于激光传感器的农业无人机避障路径控制系统设计

陈希

(河南科技大学 农业装备工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 农业无人机在工作运行中基本处于障碍物较多的低空环境中, 如果没有避障路径控制系统协调, 极易发生碰撞、坠毁事件。为此设计一种基于激光传感器的农业无人机避障路径控制系统, 由 Pixhawk 飞控设备与 GPS 位置监测单元、高度监测单元构成硬件系统, 通过陀螺仪与加速度、磁力计方式控制无人机姿态角, 再根据串级执行调节方法控制其飞行高度, 使用运动方程线性化算法获得障碍物位置, 规划农业无人机飞行路径, 实现农业无人机避障路径控制。通过从姿态、高度、位置三个方面实验验证表明: 该系统具有较强的控制性能, 并且控制结果准确率较高。

关键词: 激光传感器; 农业无人机; 避障路径; 控制系统

中图分类号: E273.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-5276(2021)06-0170-04

Design of Obstacle Avoidance Path Control System for Agricultural UAV Based on Laser Sensor

CHEN Xi

(College of Agricultural Equipment Engineering, Henan University of Science and Technology,
Luoyang 471003, China)

Abstract: Agricultural UAV in operation basically is in low altitude environment with many obstacles, which may easily causes occurrence of collisions and crashes if without the coordination of obstacle avoidance path control system. Therefore, a path control system of agricultural UAV based on laser sensor is designed. Its hardware system consists of Pixhawk flight control equipment, GPS position monitoring unit and altitude monitoring unit. The attitude angle of UAV is controlled by gyroscope, accelerometer and magnetometer, and the flight altitude is manipulated by cascade execution adjustment method. The linear algorithm of motion equation is used to obtain the obstacle position, and the flight path of agricultural UAV is planned to realize the obstacle avoidance path control of agricultural UAV. The experimental results show that the system has strong control performance and high control accuracy.

Keywords: laser sensor; agricultural drone; obstacle avoidance path; control system

0 引言

随着高效农业的理念和有关技术的不断改进与推广, 农业无人机应用越来越广泛, 以高效、便利、经济的特点使农业无人机渐渐替换传统农业, 传统依赖人力耕作的方式已逐渐被现代先进的自动化耕作方式所取代。农业无人机已成为农业行情观测的关键手段与主导力量。但是农业无人机使用过程会受到障碍物影响, 导致其撞击与坠毁, 增加成本。因此对农业无人机避障路径控制系统研究尤为重要^[1]。

关于农业无人机避障路径控制系统研究诸多, 文献[2]根据农业无人机飞行流程中存在避障问题, 利用模型预测系统方式对其避障路径进行调控。先设计预测模型系统调整方案, 同时给出整个参数调整流程, 并根据能力和时间集合最优解设定其目标对象, 建立其避障路径优化

模型系统, 最后依据滚动优化方法对其避障优化模型系统进行计算, 解决农业无人机飞行轨迹中的避障问题, 但计算复杂, 消耗大量时间; 文献[3]根据当前农业无人机独立避障能力差与避障控制系统复杂问题, 使用深度学习方式对无人机避障进行控制。使用无人机的双目相机采集图像, 当其与监测障碍物相差 $<5\text{ m}$ 时, 自己启动避障控制系统, 对采集图像进行处理并输送到卷积神经网络中, 通过姿态角度和油门量控制无人机独自飞行和避障, 但该方法控制正确率较低。

基于此, 本文采用 Pixhawk 飞控、激光传感器、GPS 位置定位等方式设计农业无人机避障路径控制硬件系统, 再利用陀螺仪与加速度、磁力计、串级执行调节与运动方程线性化等设计其软件系统, 获得其避障路径姿态、位移、高度的控制, 实现了农业无人机安全、有效与快速的避障路径控制, 避免碰撞事件发生, 降低成本, 达到自主飞行目的。

1 激光传感器的农业无人机避障系统设计

1.1 农业飞行控制系统硬件设计框架

农业无人机属于不稳定飞行设备,因此在飞行过程中需要不停地调整其姿态、高度、位置运动轨迹,使得无人机能够趋向理想运动路径^[4]。为此,采用激光传感器对农业无人机避障路径控制硬件系统进行设计,如图1所示。

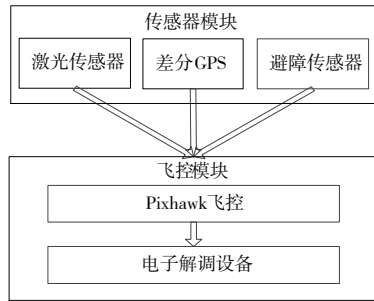


图1 激光传感器系统硬件构成

根据图1可知,整个飞行避障路径控制硬件系统由Pixhawk飞控模块与传感器模块两部分构成。其中,Pixhawk飞控模块是将Pixhawk飞控设备当作整个避障路径控制系统核心处理设备,其作用就是综合算出激光传感器收集来的信息,并依据任务要求输出响应的控制指令来控制农业无人机飞行状态;传感器模块中激光传感器功能是获取高度数据,GPS模块是获取位置数据,避障传感器是获取障碍物数据。

1) Pixhawk 飞控设备

Pixhawk飞控设备也被称为Pixhawk自动驾驶设备,随着其不断改进与完善,现有的Pixhawk自动驾驶设备作用非常强大,不仅支持超近、中程、远程无人机等诸多农业无人机机型,还能集成若干种扩展接口,使Pixhawk自动驾驶设备的研发和使用变成可能。Pixhawk飞控设备使用两种处理设备,即主处理设备与故障应对处理设备。其中,主处理设备使用具备超强计算功能的STM32F437芯片,故障应对处理设备则使用32位ARM微控制器。使用这两个处理设备最大的优势是安全、平稳,能够加强该系统抗干扰功能。例如,在主处理设备发生故障时,不能确保农业无人机正常运行,还有故障应对处理设备管理飞行控制作业,确保农业无人机能够安全、平稳继续执行飞行操作。

2) GPS 位置监测单元

为了确保农业无人机飞行路径的安全、稳定,选择GPS位置定位,其具备作业稳定、搜索功能强等特征。另外GPS模块还能提供高精度度的导航信息数据,使Pixhawk飞控设备可以正确提取出农业无人机的控制位置,降低空间位置信息数据误差,有效解决了撞击、坠毁等问题。为此选用的GPS模块提供的空间位置信息误差<0.4 m。

针对以上要求,文中选用P307高精度北斗RTK定位

板卡,此板卡对比其他GPS产品具备以下优点:

1)可以使用差分技术获得高精度位置信息数据,精度可达到厘米级;

2)兼容ROX、RTCM、CMR、CMR+等多种RTK差分数据格式;

3)COAST和Sure Track技术使用,能在差分丢失信息数据的状况下,依旧能够保持40 min时间定位状态;

4)具有消耗功率小、尺码小、质量轻等特征,极适合农业无人机载GPS设备,保证农业无人机作业安全。

3) 高度监测单元

为了确保农业无人机在工作流程中运行高度的安全、稳定性,要求激光传感器的测量正确率<0.3 m。即使Pixhawk飞控板中集成有略微气压激光传感器,也能用于运行高度的实时检测。但因为农业无人机位于低空作业,而气压传感器位于低空时,其测量准确率会受空气流动与温度变化而导致其上下浮动,此时气压传感器的测量误差最大值大约能达到1.5 m。为此微型气压器传感器MS5611-01BA位于低空时测量精度远远满足不了农业无人机工作运行的要求。

为了满足农业无人机对高度测量的需求,文中使用激光传感器当作高度测量传感器。该激光传感器外形小,质量通常不超过23 g,并且有多种通信接口,为实际的使用、研发提供基础功能。此激光传感器可以在100 m内正确地为目标对象进行定位,并且将测量精度控制在厘米范围内。

1.2 农业无人机避障系统软件设计

激光传感器的农业无人机避障路径控制软件系统则使用GX Developer对PLC进行编程控制。GX Developer是三菱通用性能极强的编程软件,能够实现信息数据管理、数据输送与避障路径控制等功能。

该软件系统主要分为避障路径姿态控制、高度控制与位置控制。其中姿态控制采用陀螺仪与加速度、磁力计等收集无人机的状态数据,再使用扩展卡尔曼滤波运算得出激光传感器仰角 θ 、滚角 γ 与偏航角 ψ 数据,并做信息整合,得出高精度的无人机姿态角数据;高度控制使用串级执行调节设备来控制无人机飞行高度与爬升速度,实现无人机高空控制;位置控制通过运动方程线性化算法获得障碍物位置,控制农业无人机飞行路径。

a) 姿态控制

农业无人机通常使用航姿参考系统对其进行姿态控制。该控制流程是由磁阻计与陀螺仪、加速度三部分构成。航姿参考系统的作用是能够为无人机飞行控制系统提供其姿态与航向信息数据。因为航姿参考系统使用的激光传感器性能不佳,其最主要问题就是噪声太大,所以由航姿参考系统监测得出的农业无人机姿态信息和真实姿态相差极大。为此,想要通过航姿参考系统得出正确姿态数据,则需要使用激光传感器对无人机避障路径进行姿态控制^[5],文中使用扩展卡尔曼滤波设备对飞行姿态数据做出控制。

卡尔曼滤波设备在设计初始仅是针对线性系统,但在应用中慢慢被发现其使用的范围极小。为了使该过滤设

备也能够处理非线性系统问题,就在该设备上研发扩展设备,即扩展卡尔曼滤波设备。其本质就是将非线性系统转化为线性化系统,再利用卡尔曼滤波设备做处理,其处理流程如下:

设定非线性模型:

$$\begin{cases} X_k = f(X_{k-1}, W_{k-1}) \\ Z_k = h(X_k, V) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f(\cdot)$ 与 $h(\cdot)$ 分别表示非线性函数; X_k 表示该系统 k 时刻的状态; Z_k 表示 k 时刻监测数值; W_{k-1} 、 V_k 表示随机变量。

扩展卡尔曼滤波设备为二次型估计设备,其对非线性系统的工作过程划分成预测与修正两个部分。

1) 预测流程

先根据 $k-1$ 时刻的状态,预测下一时间段状态 \hat{X}_k^- ,得出

$$\hat{X}_k^- = f(\hat{X}_{k-1}, 0) \quad (2)$$

再预测 k 时刻的误差协方差 P_k^-

$$P_k^- = A_k P_{k-1} A_k^T + W_k Q_{k-1} W_k^T \quad (3)$$

式中: A_k 表示状态矩阵; Q_{k-1} 表示流程噪声。

2) 修正流程

先算出扩展卡尔曼增益矩阵

$$K_k = \frac{P_k^- H_k^T}{H_k P_k^- H_k^T + V_k R_k^- V_k^T} \quad (4)$$

式中: H_k 为测量矩阵; V_k 为噪声声级; R_k 为该流程噪声。

再依据得出测量数值,算出更新数值 Z_k 与其误差的协方差 P_k ,即:

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K_k (Z_k - h(\hat{X}_k^-, 0)) \quad (5)$$

$$P_k = (1 - K_k H_k) P_k^- \quad (6)$$

根据扩展卡尔曼滤波设备得出这三种设备的姿态角信息,并进行信息整合,最终得出正确姿态角数据。

b) 高度控制

农业无人机高度控制设备通常使用串级控制设备来完成。外环是PID高度控制设备,控制农业无人机的避障路径高度,内环则利用P控制设备来控制其爬升速度。因为农业无人机在高度上无阻尼,极易发生系统超调过量,所以将控制爬行速度加入内环,能更好地完成系统超调,增强该软件系统控制的性能^[6]。

农业无人机高度控制设备结构如图2所示。

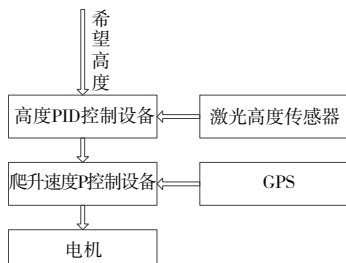


图2 农业无人机避障路径高度控制结构

控制高度的PID设备以目前高度为反馈数值,并以理想高度为初始数值;将高度PID控制设备送出的理想速度为速度内环的初始数值,并以此速度为反馈数值^[7]。

最后农业无人机以内环送出数值为依据控制该软件系统中电机转速,实现农业无人机避障路径高度控制^[8]。

c) 位置控制

农业无人机避障路径位置控制采用运动方程线性化运算得出障碍物位置,从而控制无人机路径飞行位置。设 $P_d = [x_d \ y_d \ z_d]^T$ 表示障碍物位置; $[u_d, v_d, w_d]^T$ 表示已知线速度; $P = [x \ y \ z]^T$ 表示真实位置; $[u_x, v_x, w_x]^T$ 表示现实无人机飞行线速度。其中控制量是 U_x 、 U_y 、 U_z 满足以下条件:

$$\begin{cases} U_x = K_{px}(x_d - x) + K_{dx}(\dot{x}_d - \dot{x}) + K_{ix} \int (x_d - x) dt \\ U_y = K_{py}(y_d - y) + K_{dy}(\dot{y}_d - \dot{y}) + K_{iy} \int (y_d - y) dt \\ U_z = K_{pz}(z_d - z) + K_{dz}(\dot{z}_d - \dot{z}) + K_{iz} \int (z_d - z) dt \end{cases} \quad (7)$$

式中: K_{px} 、 K_{dx} 、 K_{ix} 为 x 轴方向上通道控制系数; K_{py} 、 K_{dy} 、 K_{iy} 为 y 轴方向上通道控制系数; K_{pz} 、 K_{dz} 、 K_{iz} 为 z 轴方向上通道控制系数。

避障路径位置控制流程基本要求是在无超调的状况下加快响应速度,保证无稳态误差,完成基于激光传感器的农业无人机避障路径控制系统设计。

2 实验结果分析

为了验证所设计的基于激光传感器的农业无人机避障路径控制系统效果和可行性,利用1.2小节中姿态控制、高度控制以及位置控制的方法和流程分别进行验证,其实验结果如下。

2.1 姿态

为了验证激光传感器下农业无人机避障路径姿态控制系统性能,采用对比方法将本文系统与文献[2]和文献[3]系统进行比较,其检测结果如图3-图5所示(本刊为黑白印刷,如有疑问请咨询作者)。

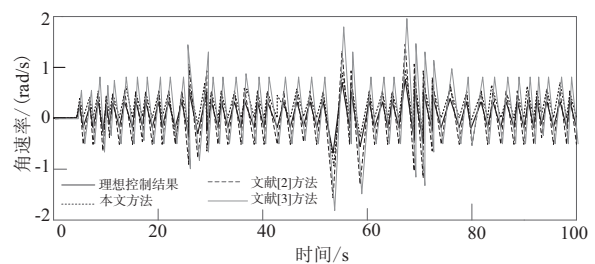


图3 不同方法下滚角速率变化情况

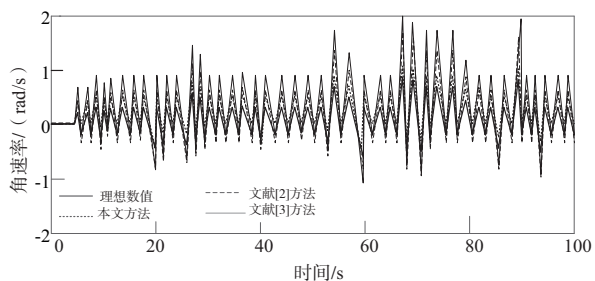


图4 不同方法下俯仰角控制对比情况

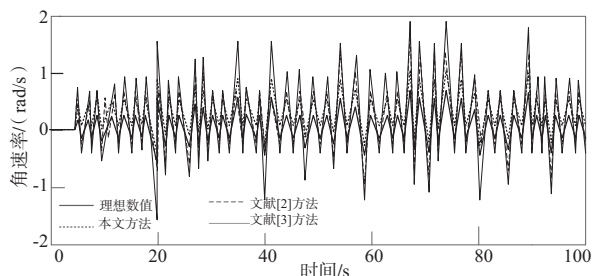


图5 不同方法下偏航角对比情况

从图3可知,在0~3 s时,农业无人机位于准备起飞状态,本文控制系统、文献[2]和文献[3]控制系统得出滚角情况与理想滚角数值结果一致;在27 s时,理想滚角为0.5 rad/s,本文控制系统得出滚角为0.52 rad/s,文献[2]控制系统得出1.1 rad/s,文献[3]控制系统得出1.49 rad/s;在80 s时,理想滚角为-0.15 rad/s,而本文与文献[2]、文献[3]控制系统得出滚角分别为-0.25 rad/s、-0.46 rad/s、-0.46 rad/s。本文控制系统最接近理想滚角数值,故证实本文系统对滚角控制性能良好。

根据图4看出,在20 s时,理想俯仰角是-0.45 rad/s,本文控制系统获得的俯仰角是-0.45 rad/s,文献[2]、文献[3]控制系统获得的俯仰角均是-0.8 rad/s;在60 s时,理想俯仰角为-0.5 rad/s,而本文与文献[2]、文献[3]控制系统获得的俯仰角分别是-0.49 rad/s、-0.8 rad/s、-1.1 rad/s,均证实本文系统性能优于文献[2]和文献[3]系统。

从图5折线变化情况看出,本文系统折线变化情况最接近理想偏航角折线,文献[2]与文献[3]都较理想折线较远,由此证明本文系统控制偏航角精准度较高。

综上所述,通过对姿态的滚角、俯仰角、偏航角控制结果分析均证实本文控制系统性能极佳,并且准确率较高。

2.2 高度

在农业无人机距离障碍物为10 m时,该无人机检测出障碍物后进行减速。在其距离障碍物为3 m时开始进行绕弧运动,当绕过障碍物后返回计划运动轨迹,同时沿着指定航线继续工作。下面采用本文与文献[2]、文献[3]系统进行对比,高度变换情况如图6所示。

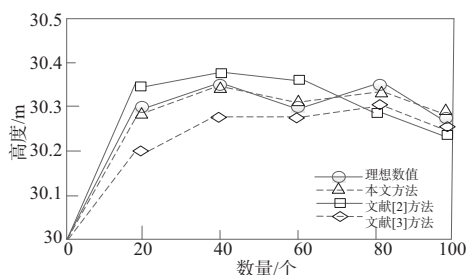


图6 农业无人机避障路径控制系统高度控制情况

根据图6可知,本文系统高度控制存在误差大约为0.02 m,文献[2]与文献[3]系统高度控制存在误差分别是0.1 m、0.05 m,本文系统高度控制误差最小,证实本文高度控制性能良好。

2.3 位置

将农业无人机悬停在距离地面100 m地方,经过地面检测得出不同系统下该无人机位置变化情况,如图7所示。

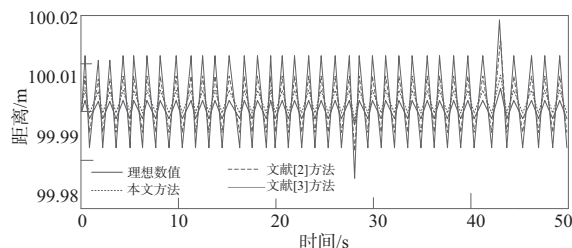


图7 农业无人机避障路径控制系统位置控制情况

从图7可知,在27 s、42 s时,其变化最大,理想控制位置与本文位置控制相差0.001 m,文献[2]相差0.06 m,文献[3]相差0.13 m。从整体上看本文系统位置控制最佳,验证了本文避障路径位置控制性能的鲁棒性极佳。

3 结语

所设计系统能够使农业无人机快速、精准躲避障碍物,并通过硬件与软件双重控制更好地实现便捷、快速的路径避障系统设计,在极短时间内完成其路径避障。农业无人机避障路径控制系统本质就是在线实时计划农业无人机自己独立判断的流程。通过农业无人机环境感知传感器模块监测环境与场景变换,实时计划任务对象并生成飞行路径,再依据飞控指令与调度信息数据,控制农业无人机精准跟踪所生成的路径,最终完成飞行目的。由于整个流程环境参数与此系统的不确定特征,就需要农业无人机对该系统参数与随机干扰具备较好的鲁棒性。虽然本文方法在避障路径控制系统方面取得一定成果,但受时间、课本因素影响,该系统还可以增添一些程序,如仿真程序、执行程序等,更好地控制农业无人机避障路径飞行。

参考文献:

- [1] 张佳龙,闫建国,张普,等. 三架固定翼无人机协同编队飞行避障策略[J]. 国防科技大学学报,2019,41(1):123-129.
- [2] 代进进,李相民,薄宁,等. 基于模型预测控制的无人机避障路径规划方法[J]. 火力与指挥控制,2020,45(1):114-119.
- [3] 李继辉,白越,裴信彪,等. 基于深度学习的农用无人机自主避障研究[J]. 农机化研究,2021,43(3):1-7.
- [4] 温家鑫,赵国荣,赵超轮,等. 基于改进人工势场的无人机编队避障[J]. 飞行力学,2020,38(2):55-60.
- [5] 孟庆林,谷森,唐飞扬,等. 基于线激光传感器的客车轮廓三维测量方法[J]. 机械制造与自动化,2020,49(6):210-212.
- [6] 湛海云,陈华胄,刘强. 基于改进人工势场法的多无人机三维编队路径规划[J]. 系统仿真学报,2020,32(3):414-420.
- [7] 张启钱,许卫卫,张洪海,等. 基于IOCAD的无人机避障路径规划[J]. 西北工业大学学报,2020,38(2):238-245.
- [8] 马娅妮,刘国庆,胡轶,等. 基于改进人工势场的无人机预设航线避障研究[J]. 高技术通讯,2020,30(1):64-70.

收稿日期:2021-04-28