



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114275161 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 27

(21) 申请号 202011038949.2

(22) 申请日 2020.09.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 114275161 A

(43) 申请公布日 2022.04.05

(73) 专利权人 扬州大学
地址 225009 江苏省扬州市大学南路88号

(72) 发明人 陈国奇 俞航 魏海燕 郭保卫
邢志鹏 胡群 梁友 张洪程

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所
(普通合伙) 32204

专利代理师 柏尚春

(51) Int. Cl.

B64D 1/18 (2006.01)

A01M 7/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 106200674 A, 2016.12.07

CN 106406336 A, 2017.02.15

CN 109275645 A, 2019.01.29

CN 110196604 A, 2019.09.03

CN 111665864 A, 2020.09.15

CN 206766352 U, 2017.12.19

JP 3036644 U, 1997.05.02

CN 105905302 A, 2016.08.31

CN 111596689 A, 2020.08.28

CN 110203391 A, 2019.09.06

CN 203399574 U, 2014.01.22

US 2016150744 A1, 2016.06.02

WO 2020137554 A1, 2020.07.02

WO 9942264 A1, 1999.08.26

审查员 康珊珊

权利要求书2页 说明书10页 附图2页

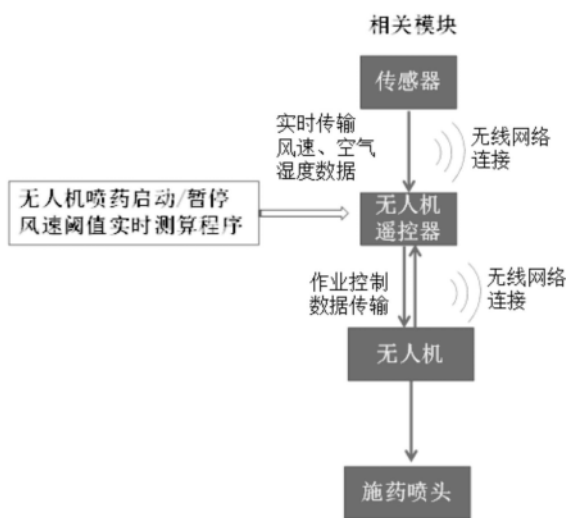
(54) 发明名称

一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法

(57) 摘要

本发明公开了一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法,属于农业技术领域,在植保无人机飞行控制程序中加入暂停/启动喷药风速阈值实时测算模块,植保无人机启动喷药作业后,当实时监测风速高于实时暂停喷药风速阈值时,植保无人机自动关闭喷头、飞回喷头关闭点悬停,待风速低于实时启动喷药风速阈值时重启喷药作业。本发明提出了一种加权计算公式,公式中调用2个实时监测参数(空气湿度、与农药漂移边界线之间的距离)和5个有关作物、靶标有害生物、喷药作业等方面的参数,用于计算无人机作业过程中实时变化的暂停/启动喷药风速阈值,并与实测风速进行比较,智能、准确、高效地控制喷药作业,摆脱药液漂移危害,应用前景广阔。

CN 114275161 B



1. 一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统的控制方法,其特征在于,

所述植保无人机喷药防漂移智能控制系统包括植保无人机、无人机遥控器和传感器,在所述的植保无人机上设置施药喷头;所述的传感器采集实时监测的风速 R_s 、空气湿度 M 后传输给无人机遥控器,无人机实时监测与禁止药液漂移边界线间的距离 D 并传输给无人机遥控器,设定风速阈值参数值,实时计算暂停喷药风速阈值 V_s 和启动喷药风速阈值 V_r 得到计算结果,并将该结果转换为控制信号,进而将控制信号传输给植保无人机,控制施药喷头启动或暂停;

所述的风速阈值参数值包括田间靶标有害生物发生严重程度等级 P 、作物对拟用农药的耐受性等级 C 、无人机飞行速度 S 、喷药作业高度 H 、必须完成喷药作业紧迫性等级 U ;

所述控制方法包括如下步骤:

S1、完成施药作物田测绘工作,设定禁止药液漂移边界线,规划作业飞行路径;

S2、将传感器放置在空旷处且距离喷药作业田块5m以上,避免无人机飞行作业对传感器测定值的影响;

S3、根据说明安装、调试无人机,确保植保无人机与无人机遥控器,无人机遥控器与传感器之间的通讯连接流畅,设置常规的无人机作业参数;

S4、按照喷药作业说明书配置农药药液等,做好无人机喷药作业准备工作;

S5、启动实时暂停喷药风速阈值 V_s 计算程序,输入风速阈值参数值,调用实时监测的风速 R_s 、空气湿度 M 、无人机与禁止药液漂移边界线间的距离 D 数据;

S6、当实时监测的风速 $R_s < \text{启动喷药风速阈值 } V_r$,启动植保无人机喷药作业;

S7、当实时监测的风速 $R_s > \text{暂停喷药风速阈值 } V_s$,植保无人机自动关闭施药喷头并进行制动,同时准确定位喷头关闭地点;

S8、植保无人机飞回喷头关闭点悬停,直至再次启动喷药作业或因常规因素返航;

S9、当实时监测的风速 $R_s < \text{启动喷药风速阈值 } V_r$,进入S6流程,再次启动喷药作业;

所述的暂停喷药风速阈值 V_s 的计算方法如下式,单位m/s:

$$V_s = 4 + M_v + P_v + C_v + S_v + H_v + U_v + D_v;$$

其中,综合风速阈值加权值计算如下:

$$M_v = (M/60\% - 1) \times W_m;$$

$$P_v = (1 - P/2) \times W_p;$$

$$C_v = (C/2 - 1) \times W_c;$$

$$S_v = (5/S - 1) \times W_s;$$

$$H_v = (1 - H/2) \times W_h;$$

$$U_v = (U/3 - 1) \times W_u;$$

$$\text{当 } 4 < D \leq 40 \text{ 时: } D_v = (1 - 40/D) \times W_d;$$

$$\text{当 } D > 40 \text{ 时: } D_v = 0;$$

当 $D \leq 4$ 时,无人机暂停喷药,按设定路径继续飞行,直至 $D > 4$ 后按程序重启喷药作业;

其中,相对权重赋值如下: $W_m = 0.14$; $W_p = 0.43$; $W_c = 0.29$; $W_s = 0.14$; $W_h = 0.29$; $W_u = 0.43$; $W_d = 0.29$;

所述的启动喷药风速阈值 $V_r = 1/2V_s$,单位m/s。

2. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,各参数相对权重赋值的计算方法是:

各参数权重赋值与各参数权重赋值总和之间比值 $\times 2$ 。

3. 根据权利要求1所述的控制方法,其特征在于,S5中,所述的空气湿度M,采用传感器实测空气湿度;所述的田间靶标有害生物发生严重程度等级P,按照如不加防治预期可导致当季作物种植效益损失百分比从低到高划分为5个等级,分别赋值1=10%以内,2=11%~20%,3=21%~30%,4=31%~40%,5=40%以上;所述的作物对拟用农药的耐受性等级C,按照1=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量;2=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量2倍量;3=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量3倍量;4=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量4倍量;5=作物可耐受的剂量超过推荐剂量4倍量,实行5个级别的赋值,在作物可耐受剂量范围内施药后,作物不表现出明显的药害症状或者轻度药害能在施药后两周内恢复;所述的无人机飞行速度S按设定的作业飞行速度,单位:m/s;所述的喷药作业高度H按设定的作业飞行高度,单位:m;所述的必须完成喷药作业紧迫性等级U,根据当天无人机施药需完成作业面积 X_d 占无人机正常作业一天所能完成最大作业面积 X_m 的百分比 $X_d/X_m \times 100\%$,将作业紧迫性分为5个等级,1=30%以内;2=30%~49%;3=50%~69%;4=70%~89%;5=90%以上;所述的与禁止药液雾滴漂移界线间的距离D按实测距离,单位:m。

一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法

技术领域

[0001] 本发明属于农业技术领域,具体涉及一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法。

背景技术

[0002] 植保无人机喷施农药防治病虫害具有超高效、突击能力强、适应性广、省工、对人与环境安全、对作物机械损伤小等突出优点,因此无人机植保相关的市场规模逐年快速膨胀,已成为我国农业无人化发展的重要方向,我国无人机植保作业不推自广,在生产中对于植保无人机施药技术改进升级的需求十分旺盛。

[0003] 当前,限制无人机植保行业发展的一个关键瓶颈问题是药液雾滴漂移危害控制难题。在无风或微风条件下,无人机施药防治病、虫、草害均接近甚至超过传统的人工背负喷雾器施药。然而,在有风天气采用无人机喷施农药隐患重重。为避免无人机飞行气旋对作物的影响并保证作业效率,无人机喷施农药作业时的飞行高度多在2~7m之间,而传统的人工喷雾或地面植保机喷雾的作业高度一般在0.3~0.5m,无人机喷药的药液雾滴在空中滞留的时间长,容易受风的干扰,当风速超过4m/s时,无人机喷出的药液雾滴团主体容易被风吹散,甚至可飘到数十米开外,造成作业田间药液喷施不均匀,一些局部斑块药量不足而无法有效防控靶标有害生物种群(许多病虫害具有传播性和扩散性,局部防控失败可能导致快速复发),另一些局部斑块药量过大而导致田间农作物药害;此外,药液漂移导致周边敏感作物严重药害或者敏感场所农药污染的问题也十分突出。

[0004] 植保无人机施药通常要求在无风或微风时使用,一方面,田间情况下即使是天气预报的无风天气,仍然不时会有随机阵风发生;另一方面,田间病虫害防治的关键时间窗口期通常具有时效性和紧迫性,突击利用有风天气中的“微风或无风”间隙及时施药具有重要的实践意义。目前我国生产中实用的多款主流植保无人机的作业效率可以达到每小时施药150亩以上。植保无人机施药作业时的飞行速度常在5m/s左右,喷幅常在4m以上,因此,无人机施药作业期间遇到随机风时,飞行1秒钟即意味着20m²以上的处理区域发生不同程度的药液雾滴漂移。

[0005] 目前,虽然随机风对植保无人机喷药作业的影响较大已经被相关行业的农技人员、企业和种植户重视,但是具体到特定场景下植保无人机喷药作业可接受风速范围的研究资料及技术积累资料还十分匮乏。开发智能化、可靠性好、高效的植保无人机喷药防漂移控制系统已经成为无人机植保产业发展亟待解决的瓶颈问题。

发明内容

[0006] 发明目的:本发明的目的在于提供一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法方法,有效破解随机风干扰对无人机植保喷药作业干扰难题。

[0007] 技术方案:为实现上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0008] 一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统,包括植保无人机、无人机遥控器和传

感器,在所述的植保无人机上设置施药喷头;所述的传感器采集实时监测的风速 R_s 、空气湿度 M 后传输给无人机遥控器,无人机实时监测与禁止药液漂移边界线间的距离 D 并传输给无人机遥控器,设定风速阈值参数值,实时计算暂停喷药风速阈值 V_s 和启动喷药风速阈值 V_r 得到计算结果,并将该结果转换为控制信号,进而将控制信号传输给植保无人机,控制施药喷头启动或暂停。

[0009] 进一步地,所述的风速阈值参数值包括田间靶标有害生物发生严重程度等级 P 、作物对拟用农药的耐受性等级 C 、无人机飞行速度 S 、喷药作业高度 H 、必须完成喷药作业紧迫性等级 U 。

[0010] 进一步地,所述的一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统的控制方法,包括如下步骤:

[0011] S1、完成施药作物田测绘工作,设定禁止药液漂移边界线,规划作业飞行路径;

[0012] S2、将传感器放置在空旷处且距离喷药作业田块5m以上,避免无人机飞行作业对传感器测定值的影响;

[0013] S3、根据说明安装、调试无人机,确保植保无人机与无人机遥控器,无人机遥控器与传感器之间的通讯连接流畅,设置常规的无人机作业参数,例如:作业高度、作业速度等;

[0014] S4、按照植保无人机喷药作业说明书等的要求做好安全防护、配置农药药液等,做好无人机喷药作业准备工作;

[0015] S5、启动实时暂停喷药风速阈值 V_s 计算程序,输入田间靶标有害生物发生严重程度等级 P 、作物对拟用农药的耐受性等级 C 、无人机飞行速度 S 、喷药作业高度 H 、必须完成喷药作业紧迫性等级 U 的评估值,调用实时监测的风速 R_s 、空气湿度 M 、无人机与禁止药液漂移边界线间的距离 D 数据;

[0016] S6、当实时监测的风速 $R_s < \text{启动喷药风速阈值 } V_r$,启动植保无人机喷药作业;

[0017] S7、当实时监测的风速 $R_s > \text{暂停喷药风速阈值 } V_s$,植保无人机自动关闭施药喷头并进行制动,同时准确定位喷头关闭地点。

[0018] S8、植保无人机飞回喷头关闭点悬停,直至再次启动喷药作业或因常规因素返航(例如因药液量不足、喷头故障、电力不足等因素返航);

[0019] S9、当实时监测的风速 $R_s < \text{启动喷药风速阈值 } V_r$,进入S6流程,再次启动喷药作业。

[0020] 进一步地,所述的暂停喷药风速阈值 V_s 的计算方法如下式,单位m/s:

[0021] $V_s = 4 + M_v + P_v + C_v + S_v + H_v + U_v + D_v$;

[0022] 其中,综合风速阈值加权值计算如下:

[0023] $M_v = (M/60\% - 1) \times W_m$;

[0024] $P_v = (1 - P/2) \times W_p$;

[0025] $C_v = (C/2 - 1) \times W_c$;

[0026] $S_v = (5/S - 1) \times W_s$;

[0027] $H_v = (1 - H/2) \times W_h$;

[0028] $U_v = (U/3 - 1) \times W_u$;

[0029] 当 $4 < D \leq 40$ 时: $D_v = (1 - 40/D) \times W_d$;

[0030] 当 $D > 40$ 时: $D_v = 0$;

[0031] 当 $D \leq 4$ 时,无人机暂停喷药,按设定路径继续飞行,直至 $D > 4$ 后按程序重启喷药作

业；

[0032] 其中,相对权重赋值如下: $W_m=0.14$; $W_p=0.43$; $W_c=0.29$; $W_s=0.14$; $W_h=0.29$; $W_u=0.43$; $W_d=0.29$ 。相对权重赋值的计算方法是各个参数权重值与各参数权重赋值总和之间比值 $\times 2$ 。

[0033] 进一步地,所述的启动喷药风速阈值 $V_r=1/2V_s$,单位m/s。

[0034] 进一步地,所述的一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统的控制方法,S5中,所述的空气湿度M,采用传感器实测空气湿度;所述的田间靶标有害生物发生严重程度等级P,按照如不加防治预期可导致当季作物种植效益损失百分比从低到高划分为5个等级,分别赋值1=10%以内,2=11%~20%,3=21%~30%,4=31%~40%,5=40%以上;所述的作物对拟用农药的耐受性等级C,按照1=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量;2=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量2倍量;3=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量3倍量;4=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量4倍量;5=作物可耐受的剂量超过推荐剂量4倍量,实行5个级别的赋值,在作物可耐受剂量范围内施药后,作物不表现出明显的药害症状或者轻度药害能在施药后两周内恢复;所述的无人机飞行速度S按设定的作业飞行速度,单位:m/s;所述的喷药作业高度H按设定的作业飞行高度,单位:m;;所述的必须完成喷药作业紧迫性等级U,根据当天无人机施药需完成作业面积(Xd)占无人机正常作业一天所能完成最大作业面积(Xm)的百分比($X_d/X_m \times 100\%$),将作业紧迫性分为5个等级,1=30%以内;2=30%~49%;3=50%~69%;4=70%~89%;5=90%以上;所述的与禁止药液雾滴漂移界线间的距离D按实测距离,单位:m。

[0035] 发明原理:在植保无人机喷药作业过程中根据传感器实时监测的风速和空气湿度、自动定位系统实时测定的与设定禁止药液漂移边界线之间的距离,自动计算并设定实时的暂停喷药风速阈值(V_s)和启动喷药风速阈值(V_r),当实时监测的风速(R_s)超过 V_s 时,喷头关闭、无人机飞回喷头关闭定位点悬停直到 $R_s < \text{启动喷药风速阈值}(V_r)$ 时重新启动喷药作业。

[0036] 有益效果:与现有技术相比,本发明的植保无人机喷药防漂移智能控制系统具备以下效果:

[0037] 1) 准确、有效破解植保无人机喷药过程中的药液漂移难题,进而大幅提高植保无人机喷药防治病虫害的效果和效率,大幅降低作业田间及周边作物药害风险;

[0038] 2) 进一步摆脱植保无人机施药对人员操控相关技能的依赖;通过实时监测结合智能化控制作业,避免人员判断失误、操作延时等因素导致的漏喷、重喷现象及药液大量飘失、长距离漂移等问题;

[0039] 3) 有效保障了复杂天气条件和夜间开展植保无人机喷药作业的效果、效率和对作物及环境安全性。在作物栽培过程中,对于暴发性有害生物种群,适合喷施农药防治的时间窗口常仅有1~7天,而在气象条件不佳、扩散性、传播性病虫害发生面积大时,抢时间喷施农药十分紧迫。现有的植保无人机作业控制系统依赖人为控制来应对随机风干扰。因此,在夜间和有风天气难以高效、安全作业。而本发明的植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法可以在夜间和有风天气里抓住适宜喷药的时机突击完成施药作业;

[0040] 4) 适应多种作业场景下植保无人机喷药作业。在喷施农药防治作物病虫害的具体实践中,多方面因素作用共同决定无人机喷药作业中对随机风干扰的容忍程度。本发明

创造性地提出了针对植保无人机施药作业的暂停/启动喷药作业风速阈值实时测算数学模型,通过调用关键因素参数的评估和实时监测数据,自动计算实时的暂停喷药风速阈值(V_s)和启动喷药风速阈值(V_r),进而通过与监测的实时监测的风速(R_s)比较,自动控制喷药作业,可以适合各种作物田、园林等生境的无人机植保作业;

[0041] 5)为积累和交流植保无人机防漂移喷药作业技术提供了统一的标准,推动无人机植保技术发展和普及;本发明所提供的系统中整合了风速传感器的实时监测数据,为研究风速对具体场景下无人机植保的效果、效率和作物安全性、农药飘失率和漂移距离的影响提供了统一的标准,便于相关人员总结技术和结果,进行公开交流,发展相关继续,推动无人植保产业发展。

附图说明

[0042] 图1为植保无人机喷药防漂移智能控制系统工作场景示意图;

[0043] 图2为植保无人机喷药防漂移智能控制系统模块组成示意图;

[0044] 图3为植保无人机喷药防漂移智能控制系统工作流程示意图。

具体实施方式

[0045] 下面结合附图和具体实施例对本发明作更进一步的说明。

[0046] 一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统,包括植保无人机、无人机遥控器和传感器,在所述的植保无人机上设置施药喷头;所述的传感器采集实时监测的风速 R_s 、空气湿度 M 后传输给无人机遥控器,无人机实时监测与禁止药液漂移边界线间的距离 D 并传输给无人机遥控器,设定风速阈值参数值,实时计算暂停喷药风速阈值 V_s 和启动喷药风速阈值 V_r ,进而将信号传输给植保无人机,控制施药喷头启动或暂停。风速阈值参数值包括田间靶标有害生物发生严重程度等级 P 、作物对拟用农药的耐受性等级 C 、无人机飞行速度 S 、喷药作业高度 H 、必须完成喷药作业紧迫性等级 U 。

[0047] 如图1所示,无人机遥控器调用实时监测的风速(R_s)、空气湿度(M)和无人机与禁止药液漂移边界线之间的距离(D)实时监测数据,设定其他5个风速阈值相关参数值。实时计算暂停喷药风速阈值(V_s)和启动喷药风速阈值(V_r);其他5个风速阈值相关关键参数:田间靶标有害生物发生严重程度等级(P)、作物对拟用农药的耐受性等级(C)、无人机飞行速度(S)、喷药作业高度(H)、必须完成喷药作业紧迫性等级(U)。

[0048] 如图2所示,传感器包括风速传感器和湿度传感器,传感器将实时数据传输给无人机遥控器,无人机遥控器与无人机进行交互控制,进而控制施药喷头按照指令启动或关闭。其中,传感器的作用是实时监测风速(R_s)、空气湿度;将实时数据传给无人机遥控器。无人机遥控器设定无人机喷药作业控制参数,设定禁止药液漂移边界线,控制无人机飞行状态,控制无人机喷头启动/关闭。无人机按设定路线飞行,实时测定与设定边界线间距离;暂停喷药时精准定位(断点);自动飞回断点悬停、启动喷药时从断点处启动喷药作业;按设置条件或指令返航。施药喷头按照指令准确关闭/启动喷药;按照指令喷施药液;故障报警。

[0049] 无人机喷药启动/暂停风速阈值设定程序,自动计算并实时调整暂停喷药风速阈值(V_s)和启动喷药风速阈值(V_r)。

[0050] 一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统的控制方法,包括如下步骤:

- [0051] S1、完成施药作物田测绘工作,设定禁止药液漂移边界线,规划作业飞行路径;
- [0052] S2、将风速和空气湿度传感器放置在空旷处且距离喷药作业田块5m以上避免无人机飞行作业对传感器测定值的影响;
- [0053] S3、根据说明安装、调试无人机,确保植保无人机与无人机遥控器,无人机遥控器与风速和空气湿度传感器之间的通讯连接流畅,设置常规的无人机作业参数,例如:作业高度、作业速度、喷药流量等;
- [0054] S4、按照植保无人机喷药作业说明书等的要求做好安全防护、配置农药药液等,做好无人机喷药作业准备工作;
- [0055] S5、启动实时暂停喷药风速阈值(V_s)计算程序,与暂停喷药风速阈值相关的7个关键参数及赋值方法见表1, V_s 的计算方法见表2。输入田间靶标有害生物发生严重程度等级(P)、作物对拟用农药的耐受性等级(C)、无人机飞行速度(S)、喷药作业高度(H)、必须完成喷药作业紧迫性等级(U)等5个参数的评估值,调用实时监测的风速(R_s)、空气湿度(M)、无人机与禁止药液漂移边界线间的距离(D)数据。
- [0056] 表1与暂停喷药风速阈值相关的7个关键参数赋值方法

参数	赋值方法
空气湿度 (M)	实测空气湿度
田间靶标有害生物发生严重程度等级 (P)	按照如不加防治预期可导致当季作物种植效益损失百分比从低到高划分为 5 个等级, 分别赋值 1=10% 以内; 2=11%~20%; 3=21%~30%; 4=31%~40%; 5=40% 以上。
作物对拟用农药的耐受性等级 (C)	1=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量; 2=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量 2 倍量; 3=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量 3 倍量; 4=作物可耐受的剂量不能超过推荐剂量 4 倍量; 5=作物可耐受的剂量超过推荐剂量 4 倍量。在作物可耐受剂量范围内施药后, 作物不表现出明显的药害症状或者轻度药害能在施药后两周内恢复
无人机飞行速度 (S)	设定的作业飞行速度 (m/s)
喷药作业高度 (H)	设定的作业飞行高度 (m)
必须完成喷药作业紧迫性等级 (U)	根据当天无人机施药需完成作业面积 (Xd) 占无人机正常作业一天所能完成最大作业面积 (Xm) 的百分比 ($Xd / Xm \times 100\%$), 将作业紧迫性分为 5 个等级, 1=30% 以内; 2=30%~49%; 3=50%~69%; 4=70%~89%; 5=90% 以上。
无人机与禁止药液雾滴漂移界线间的距离 (D)	实测距离 (m)

[0057] 表2暂停喷药风速阈值(Vs)和启动喷药风速阈值(Vr)的计算模型

参数	权重赋值	相对权重 (W)	综合风速阈值加权值 (m/s)
M	10	$W_m = 0.14$	$M_v = (M / 60\% - 1) \times W_m$

[0059]

	P	30	$W_p = 0.43$	$P_v = (1 - P/2) \times W_p$
	C	20	$W_c = 0.29$	$C_v = (C/2 - 1) \times W_c$
	S	10	$W_s = 0.14$	$S_v = (5/S - 1) \times W_s$
	H	20	$W_h = 0.29$	$H_v = (1 - H/2) \times W_h$
	U	30	$W_u = 0.43$	$U_v = (U/3 - 1) \times W_u$
[0060]	D	20	$W_d = 0.29$	$4 < D \leq 40$ 时: $D_v = (1 - 40/D) \times W_d$ $D > 40$ 时: $D_v = 0$ $D \leq 4$ 时, 无人机暂停喷药, 按设定路径继续飞行, 直至 $D > 4$ 后按程序重启喷药作业。
$V_s = 4 + M_v + P_v + C_v + S_v + H_v + U_v + D_v$ 单位: m/s $V_r = 1/2 V_s$ 单位: m/s				

[0061] $S_6, R_s < V_r$, 启动植保无人机喷药作业;

[0062] $S_7, R_s > V_s$, 植保无人机自动关闭施药喷头并进行制动, 同时准确定位喷头关闭地点。

[0063] S_8 、植保无人机飞回喷头关闭点悬停, 直至再次启动喷药作业或因常规因素返航(例如因药液量不足、喷头故障、电力不足等因素返航);

[0064] $S_9, R_s < V_r$, 进入 S_6 流程, 再次启动喷药作业。

[0065] 实施例1: 水稻分蘖期应用植保无人机喷施除草剂噁唑·灭草松防治杂草试验。

[0066] 为了比较本发明的植保无人机喷药防雾滴漂移危害自动控制系统与常规无人机喷药作业施用除草剂对靶标杂草防效和对作物安全性的差异, 在试验基地连片水稻大田开展一系列田间试验。

[0067] 1.1 试验基本信息: 水稻(*Oryza sativa*)品种苏香粳2250, 机插秧移栽。施药时水稻处于分蘖期末拔节, 田间杂草禾本科主要为稗草(*Echinochloa crus-galli*)、千金子(*Leptochloa chinensis*), 阔叶草主要为水苋菜(*Ammannia baccifera*), 莎草主要为异型莎草(*Cyperus difformis*), 施药时稗草、千金子、异型莎草处于3~5叶期, 水苋菜处于4~8叶期。试验基地同一批移栽水稻秧苗并进行统一管理的连片稻田共650亩。试验时天气: 多云, 东风3~4级, 最高温31℃, 最低温24℃。采用风速测定仪实时监测风速。供试药剂: 20%噁唑·灭草松微乳剂, 用量每亩240ml, 可有效防除水稻田常见的禾本科、阔叶类和莎草科杂草。

[0068] 1.2 试验设计:

[0069] 试验采用成对设计, 两驾相同型号的植保无人机同时启动作业, 以1个架次为1次试验处理, 重复3次试验。每次试验处理设置共4个大区, 每个试验大区的处理方式见表3。植保无人机作业飞行高度2m, 速度5.5m/s, 喷幅5.5m, 喷液量每亩1.5L, 单架次作业时间设定为10min。

[0070] 表3无人机喷药防雾滴漂移危害自动控制系统田间试验大区设置

	大区	处理方式
	T0	空白对照，不喷药，固定面积 300 m ² 。
	T1	人工喷雾，固定面积 1 亩（667 m ² ），喷液量每亩 30L。
[0071]	T2	常规无人机喷药，1 架次植保无人机连续喷药 10min，计算实际完成作业面积，喷液量每亩 1.5L。
	T3	防雾滴漂移控制系统无人机喷药：1 架次植保无人机作业 10min，按无人机喷药防雾滴漂移危害自动控制系统流程控制作业，计算实际完成作业面积，喷液量每亩 1.5L。

[0072] 1.3人工模拟防雾滴漂移危害自动控制系统：

[0073] 单架次无人机喷药作业时间(10min)内，空气湿度值波动很小，因此取喷药作业前空气湿度值作为该架次喷药试验的空气湿度值。试验区域周边50m内无敏感作物、敏感生境、敏感场所，因此无人机与禁止药液雾滴漂移界线间的距离(D)>40m，其对风速阈值无影响。试验过程中实时监测风速(Rs)，通过人工操控遥控器模拟自动控制系统的工作流程。3次重复试验中各个参数值见表4。

[0074] 表4人工模拟植保无人机喷药防雾滴漂移危害自动控制系统田间试验相关参数值

参数	重复 1	重复 2	重复 3
空气湿度 (M)	67	67	60
田间靶标有害生物发生严重程度等级 (P)	5	3	3
作物对拟用农药的耐受性等级 (C)	2	2	2
无人机飞行速度 (S)	5.5	5.5	5.5
喷药作业高度 (H)	2	2	2
必须完成喷药作业紧迫性等级 (U)	3	3	3
与禁止药液雾滴漂移界线间的距离 (D)	>40	>40	>40
暂停喷药风速阈值 (Vs)	3.4	3.8	3.8
启动喷药风速阈值 (Vr)	1.7	1.9	1.9

[0077] 1.4数据采集：

[0078] 每次试验结束后统计实际喷药作业的面积，即单位时间内喷药作业的面积数。施药后7、15、30、45天通过目测法统计各个处理下除草剂对水稻的药害指数，即目测处理区内水稻群体株高、生长势等与T0组空白对照处理相比的抑制程度，以百分数表示。药后45天在

每个试验区沿着对角线均匀设置20个0.25m²的样方,测定各个样方内所有杂草的株高和地上部分鲜重,计算株数防效和鲜重防效。

[0079] 株防效 = (对照区杂草株数 - 处理区杂草株数) ÷ 对照区杂草株数 × 100%

[0080] 鲜重防效 = (对照区杂草鲜重 - 处理区杂草鲜重) ÷ 对照区杂草鲜重 × 100%

[0081] 为了测定试验处理对水稻产量的影响,施药处理45天后,T0、T1、T2、T3处理区分别保留300m²的条块区域不追加除草措施直至收获测产。采用用邓肯氏新复极差(DMRT)法对试验数据进行统计分析,比较不同喷药作业方式处理之间的差异性。

[0082] 1.5试验结果:

[0083] 表5不同喷药作业方式处理防治稻田草害作业效率和效果比较

指标	T1	T2	T3
作业效率(亩/小时)	1.2±0.03c	161.6±0.9a	114.3±9.4b
药后7天水稻药害(%)	0c	11.7±0.9a	5.0±1.5b
药后15天水稻药害(%)	0c	18.0±1.7a	3.0±1.5b
药后30天水稻药害(%)	0c	15.3±1.5	0
药后45天水稻药害(%)	0c	14.3±2.0	0
药后45天杂草株数防效(%)	94.1±0.4a	67.1±2.5b	87.4±0.9a
药后45天杂草鲜重防效(%)	94.7±0.5a	75.4±2.8b	92.0±0.6a
水稻产量(kg/亩)	730.7±9.8a	637.6±20.4b	728.0±13.7a
水稻产量比T1处理减少(kg/亩)	/	93.1	2.7

[0085] 注:T1为人工喷雾,T2常规无人机喷药作业,T3:按防雾滴漂移控制系统作业流程操作的无人机喷药。同一行内不同字母表示不同处理之间有显著差异。

[0086] 有人辅助配药、加水条件下,T1组人工喷药完成1亩作业平均费时49.3min;T2组常规无人机喷药作业10min连续处理平均作业量为26.9亩;T3组防雾滴漂移控制系统无人机喷药作业过程中分别发生3次、2次、2次风速超过阈值($R_s > V_s$)而暂停,待风速降低至 V_r 以下后从断点重启喷药事件,实际喷药作业时间分别为6.8min、6.2min、8.0min,平均作业面积19.0亩。

[0087] 表5显示,T1人工喷药处理对水稻无药害且对杂草防效、水稻产量最高,但是作业效率较低,每小时仅能处理1.2亩。T2常规无人机喷药作业处理作业效率是人工喷药的134.7倍,但是水稻发生明显药害,杂草防效显著最低,并且水稻产量比人工喷药处理显著减少20.4%,即每亩减少93.1kg,按照每50公斤130元计算,稻谷减产损失每亩达到242.1元。T3按本发明提供的防雾滴漂移控制系统流程操作无人机喷药作业的效率是人工喷药的95.3倍,并且对水稻安全,对杂草防效及水稻产量与T1人工喷药处理相比均略低但无显著差异。

[0088] 试验期间风力3~4级,T3处理与T2处理相比,作业效率下降29.3%,但是每小时114.3亩的作业效率已可满足绝大多数情况下稻田植保作业需求,更重要的是T3处理有效保证了对靶标有害生物的防效及对水稻的安全性,进而保证水稻丰产。在无人或微风天气或者通过调整暂停/启动风速阈值测算模块中相关参数的设置,T3处理可以达到T2处理接近的作业效率。结论:本发明提供的一种植保无人机喷药防漂移智能控制系统及其控制方法可以有效破解常规无人机喷药作业受随机风干扰导致的防效下降、作物药害等难题,应

用潜力巨大。

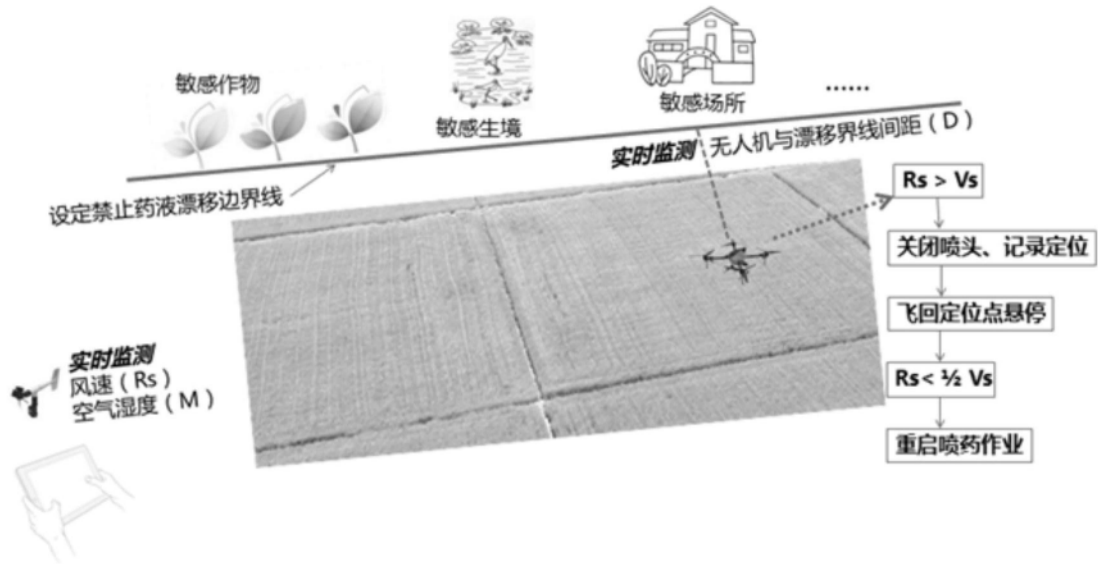


图1

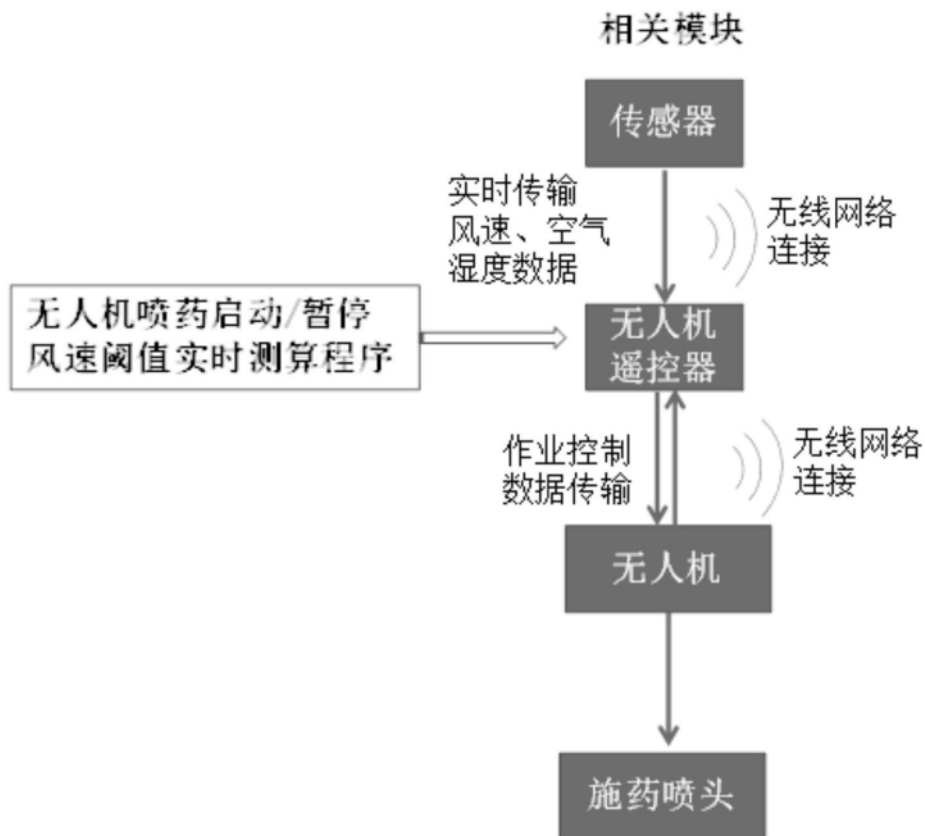


图2

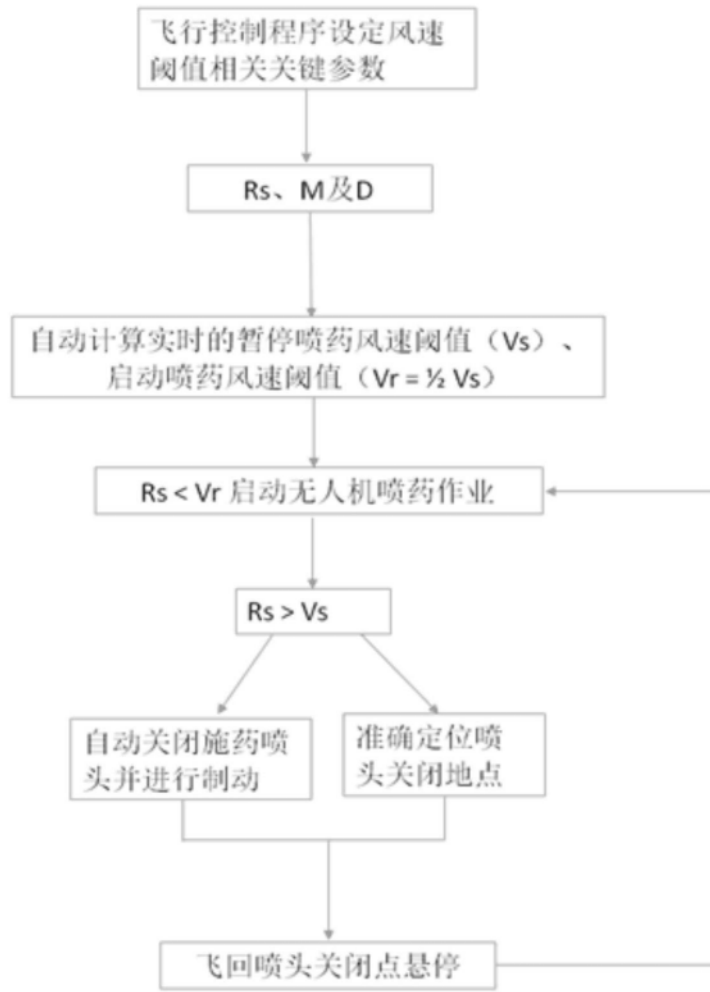


图3