

基于目视遥控的无人机直线飞行与航线作业试验*

彭孝东 张铁民 李继宇 漆海霞 廖懿华 庄晓霖

(华南农业大学南方农业机械与装备关键技术教育部重点实验室, 广州 510642)

摘要: 为了得到在无导航目视遥控模式下农用无人机的直线飞行特性、检验农田作业航线的人为即时规划情况和评价实际作业质量及效果,设计了基于GPS的坐标采集无线传输系统,以水稻田边界直线为参照,通过目视和经验遥控无人机分别进行循直线飞行试验和基于作业幅宽的航线规划飞行试验。结果表明目视遥控模式下难以控制无人机沿直线飞行;人为即时规划的航线与理论航线偏离严重;在理想喷雾条件下估算出的作业遗漏率为17.1%,重复作业占8.2%,区域外浪费占0.7%;同时,目视遥控模式下无人机的高度及速度表现出无规律随机性。因此在无导航情况下,仅凭目视和经验遥控无人机难以做到精准作业。以GPS导航为主、能根据田块实际大小智能优化并生成作业航线的自主飞行作业模式是未来农用无人机进行精准作业的发展方向。

关键词: 无人机 目视遥控 坐标采集 航线规划 全球定位系统

中图分类号: S252+.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)11-0258-06

引言

作为新型农业机械,无人机特别是无人直升机具有不需要跑道、尺寸小、操控灵活、能在空中悬停等特点,近年来逐渐在农林作物的喷药、播种、施肥、植保、遥感估产、墒情监测等作业中被广泛应用^[1-7]。无人直升机在湿地、滩涂、林地以及田块局部区域针对性对靶作业具有普通地面机械装备无法取代的非侵入式独特优点。在中小田块作业时,小型农用无人机多以遥控飞行为主,操控员根据自身视觉、经验以及田块边界或作物纹理遥控飞机进行航线飞行作业或悬停对靶作业^[8-9]。飞行作业质量取决于操控员的熟练程度、经验以及作物的行列、纹理等环境特征。飞行作业效果和效率直接关系到生产成本、作物增产和农民增收,影响到农民使用无人机进行生产作业的积极性^[10]。

GPS空间定位技术是精准农业实施的关键技术手段之一,主要应用在农业机械的定位与自动导航中^[11-18]。通过安装在农业机械上的GPS接收机,实时记录农机的作业轨迹,可生成作业数据空间分布图,不仅可为生产与管理决策提供精确的位置信息,也可通过实际轨迹对作业品质进行检验评价^[10]。

本文基于GPS坐标采集无线传输系统,对作业田块进行目视遥控飞行试验。对比实际飞行轨迹,得出目视遥控模式下无人机的直线飞行特点;并根据田块边界坐标和模拟喷雾作业幅宽推算出理想作业航迹,与目视遥控下的实际轨迹对比,估算出作业覆盖、作业遗漏、重复作业及区域外作业的浪费等情况;同时对飞机的部分姿态信息进行解算。

1 机载GPS平台系统组成

1.1 农用小型遥控无人直升机及遥控器

无人机采用珠海银通公司研制的YT-A5型无人驾驶电动单旋翼直升机,飞机的最大起飞质量为14 kg,空机质量为9 kg,最大有效载荷5 kg,机身长、宽、高为1 520、580、710 mm,主旋翼直径1 820 mm,尾旋翼直径300 mm,农药容器容量5 L,作业速率1~8 m/s,续航时间20 min。该机装载可拆卸喷淋管,喷雾作业幅宽可达5.5 m,喷施流量1.2~1.5 L/min,单机喷洒效率超过2 hm²/h。使用Futaba 2.4 GHz 10通道遥控器,配备R6014HS接收机。

试验用飞机及遥控器如图1所示,为了便于装载GPS接收机,将机头外壳拆下,同时为使机身平衡,将GPS天线安放在靠近机尾位置。

收稿日期:2013-11-20 修回日期:2014-02-06

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(SS2013AA100303、2013AA10230308-10)和机器人学国家重点实验室开放课题资助项目(RL2012-002)

作者简介:彭孝东,博士生,讲师,主要从事农业机械导航与定位、机器视觉研究,E-mail:pxd2005@scau.edu.cn

通讯作者:张铁民,教授,博士生导师,主要从事农业航空、农业电气化与自动化研究,E-mail:tm-zhang@163.com



图 1 搭载 GPS 的无人电动直升机

Fig. 1 Unmanned electric helicopter equipped with GPS

1.2 Trimble 5700 GPS 及无线数传电台

本次试验中所采用的是一款 24 通道的双频 Trimble 5700 型 RTK GPS 接收机, 采用先进的 Trimble Maxwell™ 技术, 水平定位精度 $2\text{ cm} + 1\ \mu\text{m}$, 垂直定位精度 $3\text{ cm} + 2\ \mu\text{m}$, 输出频率可达 20 Hz, 动态延迟小于 20 ms ^[19]。采用深圳技卓科技有限公司的无线数传电台(型号 JZ872, 功率 500 mW, 载频 433 MHz)发送 GPS 原始数据(GPGGA 格式), 接收模块通过串口将 GPS 数据读回并存储在计算机中, GPS 数据输出频率为 20 Hz, 串口波特率设置为 9 600 b/s, 微控制器为 C8051f330。

2 试验方法与过程

2.1 试验场地

试验场地位于海南省乐东县九所镇塘丰村 ($108^{\circ}54'58''\text{E}$, $18^{\circ}28'44''\text{N}$) 某水稻育种基地的一块约 $28\text{ m} \times 26\text{ m}$ 近似矩形的水稻田。搭建基于无人机和 GPS 的坐标无线采集系统, 如图 2 所示。



图 2 基于无人机的坐标采集系统

Fig. 2 Coordinate acquisition system based on UAV

1. Trimble 天线 2. GPS 接收机 3. 433 MHz 发射模块 4. 流动基站 5. 433 MHz 接收模块 6. 计算机

2.2 边界直线飞行与坐标采集

为了检验目视遥控模式下无人直升机在田块作物上空的直线飞行特点, 先进行人工田块边界坐标采集以确定田块的形状及大小。坐标采集试验前, 需搭建流动基站并做好相应的配置, 并确认 GPS 接收机及数传电台处于就绪状态, 手持 GPS 接收机及天线, 沿着试验田步行一周, 并将采集到的边界坐标数据存储用于离线分析。进行机载直线飞行试验前将 GPS 接收机及天线固定在无人机上, 如图 1 所示。同时要求操控手固定在同一个位置, 仅以目视

遥控的方式和自身的经验感觉对飞机相对农田边界的位姿做出判断, 进而控制飞机沿田块边界直线飞行, 同时记录 GPS 坐标。

2.3 即时航线飞行与坐标采集

就目前而言, 无人直升机在农业领域应用最成功和最广泛的是无人机喷药, 鉴于成本考虑和地形特点, 无人直升机多以遥控飞行为主。在遥控模式下, 操控者根据视觉和经验并以田块边界、作物行列纹路为参照, 同时以确定的作业幅宽, 人为地规划航线并遥控飞机使其按航线进行飞行作业。

在验证即时航线规划情况前, 同样需要搭建流动基站并确认 GPS 接收机及无线数传模块处于就绪状态。将 GPS 接收机、无线发射模块固定在直升机头部, 天线固定在机尾上并保持飞机平衡。操控者根据田块直线边界、大小及 3.8 m 喷雾作业幅宽, 遥控飞机使其在田块上空做之字形航线飞行, 由 GPS 记录实际飞行轨迹。

3 试验结果与分析

3.1 两种飞行模式下坐标数据处理

按照上述的方法及步骤, 从 Trimble 5700 型 GPS 先后两次采集原始 GPS 数据, 格式如下: \$GPGGA, 012456.40, 1828.72999791, N, 10854.97605340, E, 4, 7, 1.2, 6.161, M, 10.405, M, 0.4, 0000 * 58。其中第 3、4 和 5、6 个字段分别表示北纬 $18^{\circ}28.72999791'$ 和东经 $108^{\circ}54.9760534'$, 第 7 个字段“4”表示 GPS 处于 DGPS 模式, 第 10 个字段“6.161”表示天线海拔高度, 单位 m。GPS 输出的坐标是基于 WGS-84 大地坐标系的, 为便于数据处理, 将原始 GPS 经纬度坐标通过 Gauss-Kruger 投影变换转换成平面坐标 x, y , 推导公式为^[20]

$$x = X + Nt^2 \left[0.5 + m^2 \left(\frac{5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4}{24} + \frac{m^2(61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^4 - 330\eta^2 t^2)}{720} \right) \right] \quad (1)$$

$$y = 500\,000 + Nm \left\{ 1 + m^2 \left[\frac{1 - t^2 + \eta^2}{6} + \frac{m^2(5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58\eta^2 t^2)}{120} \right] \right\} \quad (2)$$

其中 $X = 111\,132.9525 \times B \times 180/\pi - 0.022\sin(6B) - 16\,038.42\sin(2B) + 16.833\sin(4B) + 0.000\,03\sin(8B)$
 $N = a/\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}$
 $t = \tan B \quad m = (L - L_0) \cos B$
 $\eta = \cos^2 B e^2 / (1 - e^2)$

式中 B ——纬度

a ——椭球的长轴半径, 取 6 378 137 m

e ——椭球第一偏心率,取 0.081 819 190 84
 L ——经度
 L_0 ——投影带中央子午线经度
 X ——赤道至纬度 B 的平行圈的子午线弧长
 N ——卯酉圈曲率半径
 t, m, η ——中间变量

文中使用投影坐标系的主要参数包括:投影方式为 Gauss-Kruger 法;中央子午线经度 $108.0^\circ(3^\circ\text{带})$; y 轴偏移量 500 km;地理坐标系 GCS_WGS_1984;大地参照系 D_WGS_1984;参考椭球体 WGS_1984;椭球长轴 6 378 137 m;椭球扁率 0.003 352 810 66^[19]。将前述坐标 ($18^\circ 28.72999791'$, $108^\circ 54.9760534'$) 代入编制好的程序中,可得 $x = 2\,044\,226.038\text{ m}$, $y = 596\,775.346\text{ m}$ 。由于田块面积较小,平面坐标数据只在 100 m 范围内变化,因此在作图时将坐标 x, y 数据分别减去偏移值 2 044 200 m 和 596 700 m。同时考虑到实际应用,小数点后取两位有效数字,即精确到 1 cm。将直线飞行与航线飞行采集的数据整理转换并删除部分重复数据和一些无关数据,如图 3 所示。

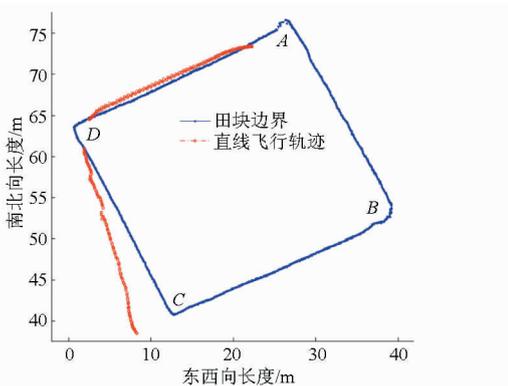


图3 无人机沿田块边界直线飞行轨迹

Fig.3 Flight path of UAV along a straight line of farmland borders

对结构化田块来讲,操控者与田块某条边界的位置关系有两种情况:两者处于同一条直线上或者不在同一条直线上,当操控者位于 A 点附近时,操控者与田块的 DA 边处在同一条直线上,而与田块的 CD 边不在同一条直线上,田块的 DA 边和 CD 边分别代表了这两种典型位置关系。图中近似矩形的蓝线是人工采集的 GPS 坐标转换成平面坐标后的曲线,能精确地反映出实际田块的大小及形状。红色曲线是目视遥控下的直升机沿这两种典型边界直线飞行的实际轨迹。

当操控者与田块边界处在同一条直线上时,操控者仅需遥控飞机进行对头或对尾飞行,对升降、副翼、油门及方向摇杆只需微调即能控制飞机严格按

照田块边界飞行。试验结果见图 4,在此种情形下飞机与田块 DA 边的横向偏差稳定在 52 cm 左右,考虑到田埂宽度约 40 cm,因此真实偏差要小于 52 cm, $R^2 = 0.238 2$ 表明此时横向偏差与人机间距离的相关性很小。

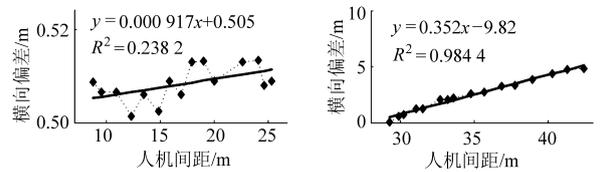


图4 偏差与人机间距离的关系

Fig.4 Deviation of the distance between the UAV and manipulators

当操控者与田块边界不在同一条直线上时,操控员需遥控飞机进行对侧飞行,对侧飞行相对对头或对尾飞行难度大大增加,特别是在匀速、等高、沿直线飞行控制上。如图 4 所示,随人机间距离不断增大,偏差也在不断增大。在接近田角 C 处附近,操控员与飞机的距离达到最大值 42.34 m 时,飞机离真实边界的距离亦最大,偏离程度高达 4.83 m。 $R^2 = 0.984 4$ 也表明偏差与人机间距离有着很大的相关性。

3.2 基于目视遥控的航线作业规划试验

精准农业是一个综合性强的复杂系统,其根本目标是提高各个资源的综合利用效率,以最适量的投入获取最大的经济效益,减少资源消耗、保护环境并遵循可持续发展原则。对无人机喷药播种或施肥作业来讲,精准农业要求作业量分布均匀、全区域覆盖,同时做到不漏、不重复、不浪费,因此,航线规划及航迹点坐标解算务必做到精准。

根据田块 4 个角点 GPS 坐标,按前述方法转换成平面坐标,去偏移值后得到田块形状如图 5 黑色曲线所示。在作业幅宽已知的情况下,根据作业方向解算出理论航迹点坐标,如图 5 中红色曲线所示。将这些轨迹坐标加上偏移值,通过高斯投影反算可以得到理想航迹点 GPS 坐标^[21-22],可作为自主飞行的导航数据。

试验假设喷雾幅宽为 3.8 m,田块 AB 边长约 28 m,在该田块沿 DA 边方向对该田块完成一次喷雾作业需 3.5 个来回。在 D 点、 C 点坐标已知的前提下,解算起飞点 M 的坐标方法如下:设 D, C 两点坐标分别为 (x_D, y_D) 、 (x_C, y_C) ,作业幅宽为 w ,待求 M 点坐标 (x_M, y_M) ,则 DC 的长度

$$l = \sqrt{(x_D - x_C)^2 + (y_D - y_C)^2} \quad (3)$$

DM 的长度为作业幅宽的一半 ($w/2$)

$$l_{DM} = \frac{w}{2} = \sqrt{(x_D - x_M)^2 + (y_D - y_M)^2} \quad (4)$$

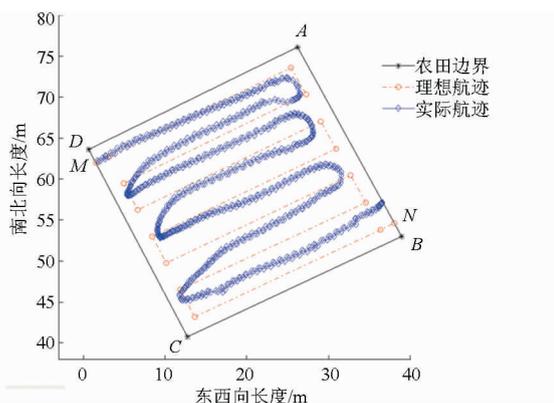


图 5 理想航线与实际航迹对比

Fig. 5 Comparison of the ideal route and the actual track

MC 长度应为 $l - w/2$, 即

$$l_{MC} = l - \frac{w}{2} = \sqrt{(x_M - x_C)^2 + (y_M - y_C)^2} \quad (5)$$

联立公式(4)、(5)即可求出 M 点坐标, 其他航迹点平面坐标的解算方法类似。

理论上飞机应从 M 点出发, 应沿着红色理想航线在试验田上空以合适的高度及 3.8 m 的行距做“之”字形飞行并在 N 点结束。

图中蓝色曲线是飞机的真实轨迹, 可以看出基于目视遥控的真实航迹与理想航迹偏差很大, 主要原因有: 飞机在完成上一条航线作业后并不能留下明显的作业痕迹, 为相邻下一条航线飞行时的间距控制带来实际困难, 造成操控者对航线间距的估算失准; 单旋翼直升机灵活性好、反应速度快的固有特点也造成其在遥控模式下难以精准控制的缺陷, 特别在田块上空近地飞行时, 气流对机身姿态的稳定性亦有相当大的影响, 进一步加大了控制难度; 当飞机在田块中间部分作业时, 由于水稻的纹理不明显, 操控者没有合适的参考基准线, 也是造成航线不够理想的一个重要原因。

3.3 作业效果与质量估算

农艺要求不同, 作业质量评价指标也不同, 对航线作业而言, 作业重叠和遗漏会直接影响到原料消耗、机器消耗与实际作业效果^[23]。

为检验目视遥控模式下的即时航线飞行作业效果和质量, 做如下理想假设: 飞机是等高、匀速且以水平姿态飞行, 同时假设喷雾均匀理想, 不考虑气流造成作业幅宽外的雾滴漂移, 根据实际作业航线和 3.8 m 作业幅宽对该次飞行作业的覆盖、遗漏及重复面积和田块外浪费面积等评价指标做简单的估算^[10], 结果如表 1 所示。

表 1 数据表明在理想喷雾作业条件下, 作业遗漏的面积约占总面积的 $\frac{1}{6}$, 遗漏部分主要出现在两个地方: 一是在人机距离较远时, 相邻航线间距增加

表 1 飞行作业时相关参数估算

Tab. 1 Related parameter estimation in flying operations

分类	面积/ m^2	百分比/%
田块总计	746	100
作业覆盖	619	82.9
作业遗漏	127	17.1
重复作业	61	8.2
田块外浪费	5	0.7

以至于超过作业幅宽; 二是在飞机接近边界时需改变航线的拐角处。重复作业部分主要表现在相邻的两条航线之间, 若其间隔小于作业幅宽就会被重复作业, 虽然可以通过增大航线间距来减小重复作业的几率, 但增大航线间距却有增加作业遗漏的风险, 两者是一对矛盾, 在目视遥控作业的情况下难以做到均衡。目标外作业造成的污染浪费主要体现在飞机沿边界作业和接近边界转向的时候, 此时飞机离边界的间距小于半个作业幅宽。若试图减小区域外作业造成的污染浪费, 则需尽量使飞机远离边界, 但作业遗漏的几率会急剧增加。

然而在人工遥控状态下飞机的高度、速度、姿态等信息并不是理想固定不变的, 图 6 所示是遥控航线飞行作业 60 s 时间内每隔 3.6 s 时飞机的即时速度和高度曲线, 高度均值为 10.70 m , 最大值为 12.74 m , 最小值为 9.07 m ; 速度均值为 2.83 m/s , 最高速度为 5.04 m/s , 最小速度为 0.29 m/s 。可以看出飞机的高度和速度时刻在变化, 而且差异很大。飞机旋翼产生气流的风速、风向和风场宽度等与飞机的速度、高度及姿态的变化密切相关, 而风场又对雾滴的分布概率和漂移的方向与距离有着重大影响。因此, 即使喷雾作业均匀理想, 在遥控飞行模式下的实际作业效果、农艺要求也是难以保证的。在遥控模式下无人机要做到精准作业, 必须综合飞机的即时信息对作业器具实施变量控制, 而遥控模式下飞机即时位姿信息的无规律随机性无疑对变量控制技术的实时性和精确性提出相当高的要求。

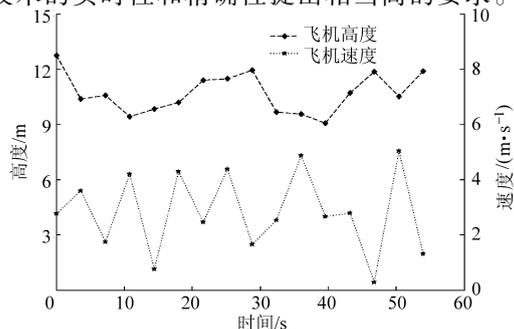


图 6 无人机飞行高度与速度曲线

Fig. 6 Height and speed of the UAV

4 结论

(1) 在没有明显行列特征的物体做参照或者飞机与操控员距离较远的情况下, 目视遥控控制无人机沿直线飞行难度较大。目视遥控模式下的即时航线规划的精准程度不仅取决于操控员的操控技能, 也与作业对象种类、种植方式以及作物纹理特征有关, 缺少明显行列特征的作业对象也是目视航线规划出现误差进而影响作业成效及农艺指标的因素之一。

(2) 在无人机遥控飞行作业中, 飞机的速度、高度、姿态以及作业量等完全由操控者目视和自身经验判断控制, 存在一定的误差和人为随意性, 难以做

到精准控制和精确作业。同时, 熟练掌握无人机的控制技巧需要经过长期、大量的飞行训练, 这对普通用户来讲在短时间内难以实现。因此, 遥控飞行作业模式的推广和普及受到限制。

(3) 在飞行作业前, 飞机如果能根据预设的作业幅宽和作业区域大小自动解算航迹点坐标, 以固定的高度和速度沿航迹点自主飞行作业, 则同时能大大降低对操控者飞行技术的要求以及变量控制技术难度。随着 DGPS 的普及、飞控技术的日臻完善和机器视觉技术的不断发展, 基于 GPS 导航、可自动田块边界识别、边界坐标采集并能自动优化、生成作业航线的自主飞行作业模式是未来农用无人机进行精准作业的发展方向。

参 考 文 献

- 1 Sugiura R, Noguchi N, Ishii K. Field information system using an agricultural helicopter towards precision farming [J]. Proceedings of the 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2003, 2:1073 - 1078.
- 2 Hunt E R, Hively W D, Fujikawa S J, et al. Acquisition of NIR-Green-Blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring [J]. Remote Sensing, 2010, 2(1): 290 - 305.
- 3 Sugiura R, Noguchi N, Ishii K. Remote-sensing technology for vegetation monitoring using an unmanned helicopter [J]. Biosystems Engineering, 2005, 90(4): 369 - 379.
- 4 Zhang Chunhua, Kovacs J M. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review [J]. Precision Agriculture, 2012, 13(6): 693 - 712.
- 5 Jacopo P, Salvatore Filippo D G, Edoardo F, et al. A flexible unmanned aerial vehicle for precision agriculture [J]. Precision Agriculture, 2012, 13(4): 517 - 523.
- 6 李冰, 刘镛源, 刘素红, 等. 基于低空无人机遥感的冬小麦覆盖度变化监测 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 160 - 165.
Li Bing, Liu Rongyuan, Liu Suhong, et al. Monitoring vegetation coverage variation of winter wheat by low-altitude UAV remote sensing system [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(13): 160 - 165. (in Chinese)
- 7 胡根生, 张学敏, 梁栋, 等. 基于加权支持向量量数据描述的遥感图像病害松树识别 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 258 - 263, 287.
Hu Gensheng, Zhang Xuemin, Liang Dong, et al. Infected pine recognition in remote sensing images based on weighted support vector data description [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 258 - 263, 287. (in Chinese)
- 8 李继宇, 张铁民, 彭孝东, 等. 四旋翼飞行器农田位置信息采集平台设计与实验 [J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 202 - 206, 212.
Li Jiuyu, Zhang Tiemin, Peng Xiaodong, et al. Collection platform of field location information based on four-rotor aircraft [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5): 202 - 206, 212. (in Chinese)
- 9 张京, 何雄奎, 宋坚利, 等. 无人驾驶直升机航空喷雾参数对雾滴沉积的影响 [J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 94 - 96.
Zhang Jing, He Xiongkui, Song Jianli, et al. Influence of spraying parameters of unmanned aircraft on droplets deposition [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 94 - 96. (in Chinese)
- 10 刘卉, 孟志军, 付卫强. 基于 GPS 轨迹的农机垄间作业重叠与遗漏评价 [J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 149 - 154.
Liu Hui, Meng Zhijun, Fu Weiqiang. Overlap and skip evaluation for agricultural machinery operation based on GPS track logs [J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(18): 149 - 154. (in Chinese)
- 11 周俊, 张鹏, 宋百华. 农业机械导航中的 GPS 定位误差分析与建模 [J]. 农业机械学报, 2010, 41(4): 189 - 198.
Zhou Jun, Zhang Peng, Song Baihua. Analysis and modeling of GPS positioning error of navigation of agricultural machinery [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(4): 189 - 198. (in Chinese)
- 12 罗锡文, 张智刚, 赵祚喜, 等. 东方红 X-804 拖拉机的 DGPS 自动导航控制系统 [J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 139 - 145.
Luo Xiwen, Zhang Zhigang, Zhao Zuoxi, et al. Design of DGPS navigation control system for Dongfanghong X-804 tractor [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(11): 139 - 145. (in Chinese)
- 13 Zhang Q, Qiu H C. A dynamic path search algorithm for tractor automatic navigation [J]. Transactions of the ASAE, 2004, 47(2): 639 - 646.
- 14 Nagasaka Y, Umeda N, Kanetai Y, et al. Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2004, 43(3): 223 - 234.

- 15 张淑娟,刘映刚,王凤花,等. 基于 GPS 的农田信息采集与处理系统的设计与实现[J]. 山西农业大学学报:自然科学版, 2007,27(2):196-199.
Zhang Shujuan, Liu Yinggang, Wang Fenghua, et al. Study on field information management system of precision agriculture based on GPS[J]. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 27(2):196-199. (in Chinese)
- 16 车艳双,李民赞,郑立华,等. 基于 GPS 和 PDA 的移动智能农田信息采集系统开发[J]. 农业工程学报,2010,26(14):109-114.
Che Yanshuang, Li Minzan, Zheng Lihua, et al. Development of a movable farm-data acquisition system with PDA and GPS[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(14):109-114. (in Chinese)
- 17 孟志军,王秀,赵春江,等. 基于嵌入式组件技术的精准农业农田信息采集系统的设计与实现[J]. 农业工程学报,2005, 21(4):91-96.
Meng Zhijun, Wang Xiu, Zhao Chunjiang, et al. Development of field information collection system based on embedded COM-GIS and pocket PC for precision agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4):91-96. (in Chinese)
- 18 卢之慧,沈明霞,姬长英. 嵌入式 GPS 技术的农用飞机作业航线及边界规划研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(8):3819-3820, 3823.
Lu Zhihui, Shen Mingxia, Ji Changying. Channel planning and border algorithm in agricultural aircraft operating based on embedded and GPS technology [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(8):3819-3820, 3823. (in Chinese)
- 19 张智刚,罗锡文,胡炼,等. 4 种 DGPS 模块动态定位精度测试与分析[J]. 华南农业大学学报,2010,31(1):102-107.
Zhang Zhigang, Luo Xiwen, Hu Lian, et al. Study on dynamic positioning precision of 4 kinds DGPS modules [J]. Journal of South China Agricultural University, 2010, 31(1):102-107. (in Chinese)
- 20 李洪涛,许国昌. GPS 应用程序设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 21 邓兴升,汤仲安,花向红,等. 椭球变换后的高斯投影正反算算法[J]. 大地测量与地球动力学,2010,30(2):49-52.
Deng Xingsheng, Tang Zhongan, Hua Xianghong, et al. Gauss-Kruger projection forward and reverse calculation after ellipsoid transform [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2010, 30(2):49-52. (in Chinese)
- 22 刘健,刘高峰. 高斯-克吕格投影下的坐标变换算法研究[J]. 计算机仿真,2005,22(10):119-122.
Liu Jian, Liu Gaofeng. Algorithm of coordinates conversion in Gauss-Kruger projection [J]. Computer Simulation, 2005, 22(10):119-122. (in Chinese)
- 23 王殿义. 农机作业的质量管理[J]. 农业开发与装备,2010(3):16-17.
Wang Dianyi. Quality control of agricultural mechanization [J]. Agricultural Development and Equipments, 2010(3):16-17. (in Chinese)

Experiment of Straight and Airline Flight Operation for Farmland Based on UAV in Visual Remote Mode

Peng Xiaodong Zhang Tiemin Li Jiyu Qi Haixia Liao Yihua Zhuang Xiaolin
(Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education,
South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: To get the straight flight features of agricultural UAV (unmanned aerial vehicle), and to verify and evaluate the artificial path planning and the actual operating results in visual remote flight mode, a wireless transmission system based on GPS was designed. The handler took the straight boundary of paddy field as a reference by using remote control UAV based on visual and experience. Straight flight experiment and the real-time path planning flight experiment were implemented on the base of the paddy field boundary. The results showed that it was difficult to control the UAV flying in a straight line in visual remote control mode, and the artificial planning route deviated from the ideal flight path significantly for the reason of no reference. It was estimated that the skip rate was 17.1%, duplication operation occupied 8.2%, and outside wasted region accounted for 0.7%. Meanwhile, the height and speed of the UAV had a characteristic of erratic randomness in visual remote flight mode. Therefore, in case of no navigation, it is difficult for handler to implement precise operation by means of visual and experience alone. Autonomous flight mode with GPS navigation, intelligent optimization and generates flight trajectory, is the direction for future development of UAV applied in precision farming.

Key words: Unmanned aerial vehicle Visual remote Coordinates acquisition Route planning GPS