

无人直升机风场无线传感器网络测量系统设计与试验*

胡炼 周志艳 罗锡文 汪沛 严乙桢 李继宇

(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: 为了实现田间多点、多风向、可移动、实时采集无人直升机旋翼气流在作物冠层所形成的风场相关参数,设计了一种风场无线传感器网络测量系统,对该系统风速测量时的可靠性进行了分析和田间试验检验。系统由若干三向风速传感器无线测量节点(WWSS)、无人直升机位姿信息测量模块(FGPS)以及智能总控汇聚模块(ICFN)组成,试验结果表明:选用叶轮风速传感器设计的三方向风速无线测量节点风速平均测量相对误差不大于3.52%,最大绝对误差为0.2 m/s,且各叶轮风速传感器之间无显著差异,变异系数不大于4.41%,能够可靠准确地测量风场内相应的风速值;三方向安装支架可方便地将三方向风速无线测量节点置于水稻田间,智能汇聚节点(ICFN)和WWSS节点以星形拓扑结构通过无线数据传输方式组网,非常适合在田间进行多点、多风向、可移动、实时采集数据;此外,FGPS模块采用RTK GPS等高精度传感器测量直升机的位姿信息,有利于后期开展授粉作业影响因素的综合分析,为开展无人直升机用于水稻制种辅助授粉的田间作业参数优选提供有效工具。

关键词: 无人直升机 辅助授粉 风速 风场 无线传感器网络 田间测量

中图分类号: S252; S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)05-0221-06

引言

当前,我国杂交水稻制种生产主要采用人力辅助授粉方法^[1-2],包括单长竿赶粉法、双短竿推粉法和绳索拉粉法等^[3],这些方法不仅费时费工、劳动强度大,父本不能充分散粉,产量得不到保证^[4],且父母本行比小^[5-6],不利于实现制种全程机械化。由于水稻花粉花期较短,当天的有效授粉作业时间仅为1.5~2 h^[7-8],这对机械授粉的效率提出了很高的要求。将直升飞机等航空飞行器用于杂交水稻制种辅助授粉,是解决杂交水稻制种中辅助授粉机械化的重要途径之一。2012年起华南农业大学等单位已开始探索利用无人驾驶直升机进行杂交水稻辅助授粉作业^[9]。

花粉在风力作用下的运动分为2种,一种是被气流直接吹散出去,另一种是花粉在气流冲击植株茎秆的作用下抛出或被振动产生的气流带动向前运动。在气力作用下,花粉的分布受气流影响显著,花粉量随流速的增大而增大,花粉在一定速度的定向气流中能保持较好的直线传播^[10]。无人驾驶直升机辅助授粉是利用直升机旋翼产生的风将花粉扩散出去的气力授粉方式。然而,直升机旋翼产生的风

并非单向或定向气流,花粉在风力下的传播主要利用与水稻冠层平行方向气流。要研究直升机所形成的风场对杂交水稻辅助授粉的影响,须在稻田中实时测量飞行器风场在水稻冠层的分布情况以及受直升机飞行高度和速度的影响。测量平行于直升机飞行方向的风速 v_x 和垂直于飞行方向的风速 v_y 可分析无人直升机所形成风场平行于水稻冠层的分量对花粉扬起和输送情况,测量垂直于水稻冠层的风速 v_z 可了解直升机所形成风场对水稻损伤情况(强大风速会引起花粉传播阻碍和水稻倒伏等,如直升机悬停时通常风速可达15 m/s以上)。现有的风速测量设备^[11-13]和方法^[14]较难满足要求,不适合田间水稻冠层的风场风速测量。

本文设计一种能在水稻冠层进行多点、多风向、可移动、实时采集数据的风场无线传感器网络测量系统,为无人直升机授粉研究提供作物冠层风场试验数据,并为辅助授粉作业规范的制定提供依据。

1 风场无线传感器网络测量系统设计

1.1 风速测量原理与三方向风速测量节点设计

1.1.1 风速测量原理

目前风速风向的测量主要有机械式^[15-16]、毕托

收稿日期:2013-10-30 修回日期:2014-02-15

* 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2012AA101901-3、2013AA102303)、国家自然科学基金资助项目(31371539)、公益性行业(农业)科研专项资助项目(201403057)和“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2014BAD07)

作者简介:胡炼,助理研究员,主要从事智能化检测与控制 and 精细农业研究,E-mail:lianhu@scau.edu.cn

通讯作者:周志艳,副教授,主要从事农业航空应用技术研究,E-mail:zyzhou@scau.edu.cn

管式^[17]、热线膜式^[18]和超声波式^[19]等方式,机械式测风仪器是最常用、使用历史最长的设备,成本较低且使用方便。机械式叶轮风速传感器感应部分由三叶或四叶螺旋浆叶轮组成,叶轮绕轴以正比于风速的转速旋转^[14],本文从应用需求和成本等方面考虑采用叶轮风速传感器,其风速与叶轮旋转关系为

$$v = 0.1F \quad (1)$$

式中 v ——风速, m/s

F ——叶轮风速传感器输出脉冲频率, Hz

1.1.2 三方向风速无线测量节点设计

为分析直升机旋翼气流到达水稻冠层产生风场的分布,将风场分解为3个分量,平行于飞机飞行方向 X 、垂直于飞机飞行方向 Y 及垂直于水稻冠层方向 Z , X 方向和 Y 方向形成的平面与水稻冠层面平行。三方向风速无线测量节点(Wireless wind speed sensor, WWSS)由电源模块、微处理器、存储器、无线收发模块、接口部分和3个风速传感器组成,如图1a所示。微处理器负责采集 X 、 Y 和 Z 方向风速传感器信号并转化成风速存放于存储器中或通过无线收发模块发出去。无线收发模块载频490 MHz、串口速率9 600 b/s、功率100 mW。存储器可在无线收发数据失败等故障时临时存储数据,便于事后通过无线或有线方式从风速测量节点读出数据。供电模块采用可充电电池供电,在无线收发模块以20 Hz频率收发时可持续工作时间为10 h。

图1b为三方向风速测量节点的3个叶轮风速传感器安装示意图,下部为三角支架,可方便架设于田间、可防风吹倒,上部为风速传感器安装座,构成空间直角坐标系,上部可相对于下部调整高度以适应不同高度的水稻。

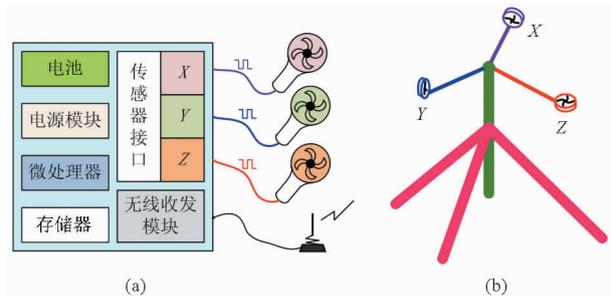


图1 三方向风速无线测量节点示意图

Fig. 1 Diagram of the wireless wind speed sensor

(a) 电气原理图 (b) 安装示意图

1.2 风场无线传感器网络测量系统设计

图2为风场无线传感器网络测量系统(Wireless wind speed sensor network system, WWSSN)的总体框架示意图,系统由若干风速传感器无线测量节点(WWSS)、无人直升机位姿信息测量模块(Flight global position system, FGPS)和智能总控汇聚模块

(Intelligent control focus node, ICFN)组成。WWSS节点和ICFN模块以星形拓扑结构组网,无人直升机的风场通过若干WWSS节点感知,WWSS节点尽可能覆盖被测的整个风场范围,用于提供风场内特定位点的多个方向的风速值,并通过无线网络的方式与ICFN模块进行数据交换。FGPS由高精度RTK GPS接收机、天线和小功率无线数传电台组成,用于测量无人直升机的飞行轨迹、飞行速度和飞行高度等位姿信息,在风场数据分析时明确飞机与三方向风速测量节点阵列的位置关系。RTK GPS平面精度 $10 \text{ mm} \pm 0.000 01 \text{ mm}$,高程精度 $20 \text{ mm} \pm 0.000 04 \text{ mm}$,输出频率20 Hz。GPS数据通过小功率无线数传电台传输到ICFN,无线数传电台功率500 mW,载频433 MHz,信道速率3 8400 b/s。

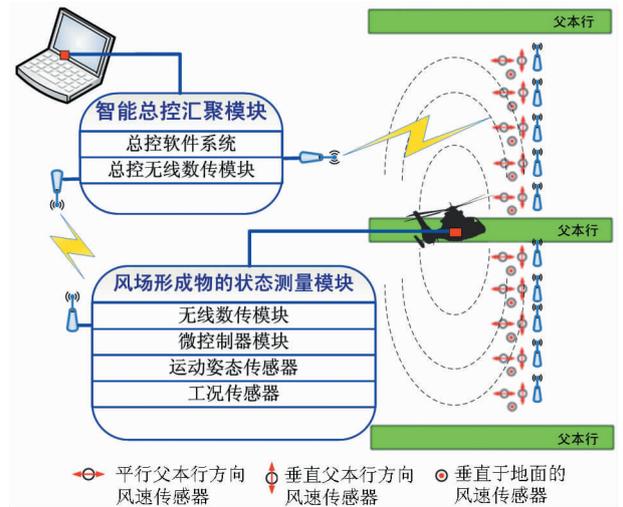


图2 风场无线传感器网络测量系统的总体框架示意图

Fig. 2 Diagram of the wireless wind speed sensor network system (WWSSN)

ICFN模块由便携式计算机、数据采集软件、载频433 MHz和490 MHz无线收发模块组成,用于向WWSS节点和FGPS模块发送参数配置及控制指令并接收和存储采集到的数据信息。WWSS节点和ICFN模块以星形拓扑结构组网,数据采集软件结合WWSS节点地址和指令组成通讯消息,并根据多串口通讯协议以广播形式发送到各WWSS节点。指令包括系统检测、设置、WWSS节点同步采集、数据查询等。WWSS节点根据指令完成相关任务并通过无线收发模块返回节点消息。数据采集软件将接收到的节点消息经过校验并解析转换为节点数据,以txt或xls文件形式存储于计算机上。

2 试验与结果分析

2.1 风速传感器试验与分析

风速是本系统最重要的参数,为测定三方向风

速测量节点的测量精度以及各风速传感器之间的差异,对 10 个 WWSS 节点及其 30 个叶轮风速传感器进行了试验。如图 3 所示,为获得稳定风源,将轴流风机置于风筒一端,风筒内径与叶轮风速传感器外径一致,风筒总长 40 cm,在离出口 1/3 处设计有一个缺口,其大小正好将叶轮风速传感器放入风筒中。测试中轴流风机风速分 A(3.3 m/s)、B(2.4 m/s)和 C(1.8 m/s) 3 挡,每挡测试前用标智风速仪(型号: GM8901,深圳市聚茂源科技有限公司,测量风速范围 0~45 m/s,精度 $\pm 3\%$,分辨率 0.1 m/s)测量确定,三方向风速测量节点测量的风速数据如表 1 所示。

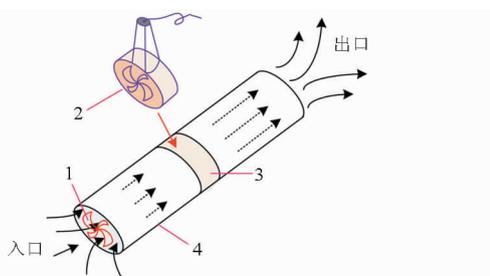


图 3 风速传感器可靠性检验测定装置示意图

Fig.3 Diagram of the reliability measuring device for wind speed sensors

1. 轴流风机 2. 叶轮风速传感器 3. 缺口 4. 风筒

表 1 风速传感器试验结果

Tab.1 Calibration results of wind speed sensors

		m/s					m/s		
节点号	方向	风速挡位			节点号	方向	风速挡位		
		A	B	C			A	B	C
1	X	3.3	2.4	1.7	6	X	3.3	2.4	1.9
	Y	3.3	2.3	1.7		Y	3.4	2.4	1.8
	Z	3.3	2.3	1.9		Z	3.3	2.5	1.9
2	X	3.2	2.4	1.8	7	X	3.3	2.3	1.7
	Y	3.2	2.4	1.8		Y	3.3	2.3	1.8
	Z	3.2	2.3	1.9		Z	3.2	2.4	1.9
3	X	3.2	2.4	1.8	8	X	3.1	2.4	1.7
	Y	3.3	2.3	1.8		Y	3.1	2.3	1.9
	Z	3.3	2.3	1.9		Z	3.3	2.5	1.8
4	X	3.3	2.4	1.8	9	X	3.3	2.4	1.8
	Y	3.3	2.5	1.9		Y	3.2	2.4	1.8
	Z	3.1	2.3	1.9		Z	3.3	2.3	1.7
5	X	3.2	2.3	1.9	10	X	3.3	2.4	1.8
	Y	3.2	2.4	1.9		Y	3.2	2.4	1.8
	Z	3.3	2.4	2.0		Z	3.1	2.4	1.7

WWSS 所测得风速值的分析结果如表 2 所示,30 个叶轮风速传感器分别测量 3.3 m/s、2.4 m/s 和 1.8 m/s 风速时,相对于 GM8901 型风速仪测量值的平均相对误差分别为 1.82%、1.94% 和 3.52%,说明 30 个叶轮风速传感器的测量结果都较准确,最大

的绝对误差为 0.2 m/s。30 个风速测量之间的变异很小,在 A、B 和 C 3 挡不同风速下标准差分别是 0.08、0.06 和 0.08 m/s,变异系数分别为 2.35%、2.65% 和 4.41%,说明叶轮风速传感器之间无显著差异,能够准确地测量定向风速值;10 个 WWSS 节点能可靠准确地测量风场内相应方向上的风速值。

表 2 WWSS 测得的风速值分析结果

Tab.2 Analysis results of wind speed

参数	A 挡	B 挡	C 挡
平均相对误差/%	1.82	1.94	3.52
标准差/($m \cdot s^{-1}$)	0.08	0.06	0.08
变异系数/%	2.35	2.65	4.41

2.2 田间试验检验

为检验整套系统在田间实际测量的工作性能,设计了田间试验进行检验。试验中用于测试的无人直升机为珠海羽人飞行器有限公司生产的单轴单旋翼电动无人直升机,飞机质量 9.3 kg,最大任务载荷能力 15 kg,田间风场测量试验时的作业载荷为 2.75~4.75 kg,主悬翼直径 2 000 mm。试验场地位于海南省三亚市乐东县黄流镇隆平种业有限公司杂交水稻繁育基地(E 108°50'21",N 18°28'24")。时间为 2013 年 1 月 26 日,水稻品种为两优 0293,正处于始穗期,试验时平均株高约为 50 cm。

田间试验的场景如图 4 所示,10 个 WWSS 节点采用线阵的方式布置于水稻田中,风速传感器的安装高度与水稻冠层齐平,约 0.50 m,每个点间隔 1 m,各节点三路风速传感器轴心的安装方向分别为平行于飞行方向(X)、垂直于飞行方向(Y)、垂直于水稻冠层方向(Z)。无人直升机预定飞行路线垂直于 10 个节点线阵,直升机飞行至离线阵 3 m 时开始同步采集数据,采样频率 20 Hz,连续采集时间 5 s。

图 5 是通过 FGPS 测得的试验中飞机在采样时段内的实际飞行航线与预定航线对比图(图中 S1~



图 4 田间试验检验的场景

Fig.4 Test in paddy field

S10 为传感器序号)。图 6 是获得的采样时段内 3 个方向的风场分布图。从图 6 中可以清晰地看到飞机过顶时飞机旋翼气流在水稻冠层所形成风场在 3 个方向上的分布情况,在该架次的测量中,飞机的飞行高度为 1 m,飞行速度为 1.56 m/s。根据文献[20-21]报道,杂交水稻父本花粉悬浮参考速度为 1.095 ~ 1.12 m/s,则该型飞机本次飞行 X 和 Y 方向有效风场宽度分别为 9.5 m 和 8.8 m;杂交水稻制种授粉的适宜风速为花粉悬浮速度的 2~3 倍,即 2.5 ~ 3.5 m/s,则该型飞机本次飞行 X 和 Y 方向有效风场宽度分别为 6.5 m 和 5.0 m。X 方向风场宽度略宽于 Y 方向,且分布较好,Y 方向出现双峰现象。Z 方向风速不利于花粉悬浮和传播,且风速过大会损伤水稻,但水稻稻秆弹回运动有利于花粉从植株上脱落,因此需结合花粉运动等开展进一步研究。试验结果表明,系统能同时测量无人直升机的飞行参数及在水稻冠层 3 个方向的风速,为开展无人直升机用于水稻制种辅助授粉的田间作业参数优选提供有效工具。

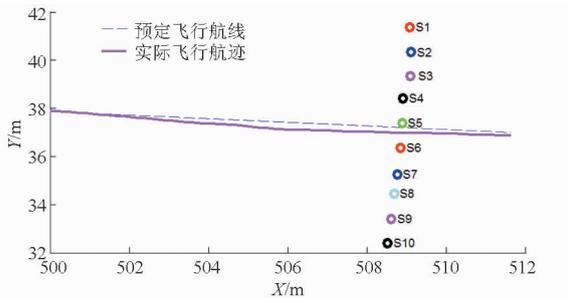


图 5 飞机在采样时段内的实际飞行航线与预定航线对比
Fig. 5 Comparison of flight trajectory with planning trajectory of unmanned helicopter at sampling period

3 结束语

(1) 选用叶轮风速传感器设计的三方向风速无线测量节点(WWSS)能准确测量风速,各叶轮风速传感器之间无显著差异,变异系数不大于 4.41%,能够准确地测量定向风速值。

(2) 三方向安装支架可方便地将风速无线测量

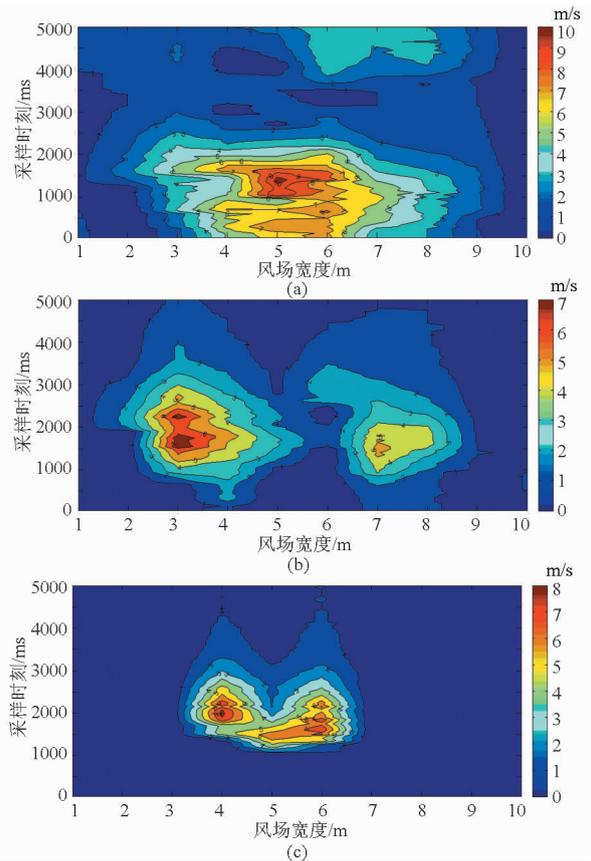


图 6 采样时段内 3 方向的风场分布情况
Fig. 6 Wind field distribution of 3 direction at sampling period

(a) X 方向 (b) Y 方向 (c) Z 方向

节点置于水稻田间;智能汇聚节点(ICFN)和 WWSS 节点以星形拓扑结构通过无线数据传输方式组网,非常适合在田间进行多点、多风向、可移动、实时采集数据;此外,无人直升机位姿信息测量模块(FGPS)采用 RTK GPS 等高精度传感器测量直升机的位姿信息,有利于后期开展授粉作业影响因素的综合分析。

(3) 该系统能提供风速、风向和风场宽度等风场相关参数,可结合水稻花粉传播特性等开展无人直升机用于水稻制种辅助授粉的田间作业参数优选研究。此外,风速测量传感器的动态测量性能和直升机风场 Z 轴方向的风压文中未考虑,有待进一步研究。

参 考 文 献

- 胡建平. 浅析杂交水稻制种的产量构成与高产制种技术[J]. 种子, 2010, 29(12): 119-121.
Hu Jianping. Probation on yield component and seed production technology of hybrid rice[J]. Seed, 2010, 29(12): 119-121. (in Chinese)
- 张绍安,余保生,谢保忠. 杂交水稻制种高产的影响因素与对策[J]. 现代农业科技, 2010(24): 86, 89.
- 汤楚宙,王慧敏,李明,等. 杂交水稻制种机械授粉研究现状及发展对策[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 1-7.
Thang Chuzhou, Wang Huimin, Li Ming, et al. Study status and developmental strategies of mechanical pollination for hybrid rice breeding[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(4): 1-7. (in Chinese)
- 兰陆寿,黄一飞,胡峰,等. 杂交水稻繁殖制种赶粉新方法:垂直行向赶粉法[J]. 杂交水稻, 2003, 18(3): 30-31.

- Lan Lushou, Huang Yifei, Hu Feng, et al. The row-vertical pollinating method—a new supplementary pollinating method in hybrid rice seed production[J]. *Hybrid Rice*, 2003, 18(3): 30–31. (in Chinese)
- 5 周宗岳, 曹孟飞. 人工辅助授粉的理论与技术研究 ii. 振动对开花的影响[J]. *杂交水稻*, 1996, 11(5): 14–16.
Zhou Zongyue, Cao Mengfei. Theory and technique of supplementary pollination II. Influence of vibration on flowering[J]. *Hybrid Rice*, 1996, 11(5): 14–16. (in Chinese)
- 6 周宗岳, 何增明, 曹孟飞. 人工辅助授粉的理论与技术研究 III. 不同时间赶花粉的空间分布[J]. *杂交水稻*, 1996, 11(6): 22–23.
Zhou Zongyue, He Zengming, Cao Mengfei. Theory and technique of supplementary pollination III. Space distribution of pollen at different pollinating time[J]. *Hybrid Rice*, 1996, 11(6): 22–23. (in Chinese)
- 7 张彬, 芮雯奕, 郑建初, 等. 水稻开花期花粉活力和结实率对高温的响应特征[J]. *作物学报*, 2007, 33(7): 1177–1181. (in Chinese)
Zhang Bin, Rui Wenyi, Zheng Jianchu, et al. Responses of pollen activity and seed setting of rice to high temperature of heading period[J]. *ACTA Agronomica Sinica*, 2007, 33(7): 1177–1181. (in Chinese)
- 8 李训贞, 周广洽, 徐孟亮, 等. 机械采粉、授粉对水稻花粉活力和异交结实的影响[J]. *作物学报*, 1996, 22(3): 353–357.
Li Xunzhen, Zhou Guangqia, Xu Mengliang, et al. Effects of mechanical collection and pollination of rice pollen on the vigor and seed set in hybridization[J]. *ACTA Agronomica Sinica*, 1996, 22(3): 353–357. (in Chinese)
- 9 汪沛, 胡炼, 周志艳, 等. 无人油动力直升机用于水稻制种辅助授粉的田间风场测量[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(3): 54–61.
Wang Pei, Hu Lian, Zhou Zhiyan, et al. Wind field measurement for supplementary pollination in hybrid rice breeding using unmanned gasoline engine single-rotor helicopter[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(3): 54–61. (in Chinese)
- 10 王慧敏, 汤楚宙, 李明, 等. 气流速度对杂交水稻制种授粉花粉分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(6): 63–69.
Wang Huimin, Thang Chuzhou, Li Ming, et al. Effect of airflow speed on pollens distribution for hybrid rice breeding pollination [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(6): 63–69. (in Chinese)
- 11 长沙理工大学. 一种基于单片机的大规模风场风能监测装置: 中国, 201020613468.5[P]. 2011–05–25.
- 12 成都阜特科技有限公司. 风场监控系统: 中国, 200910059133.5[P]. 2009–09–23.
- 13 农业部南京农业机械化研究所. 移动式无人机农用喷洒作业风场测试设备及测试方法: 中国, 200910213355.8[P]. 2009–10–28.
- 14 周伟静, 沈怀荣. 一种基于小型无人机的风场测量方法[J]. *测试技术学报*, 2009, 23(4): 297–302.
Zhou Weijing, Shen Huairong. A wind measuring method based on a mini-UAV [J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2009, 23(4): 297–302. (in Chinese)
- 15 冯澜, 万军红. 风速与风力智能测定装置的设计[J]. *上海电机学院学报*, 2005, 8(3): 22–23.
Feng Lan, Wan Junhong. Design of the intelligent device for measuring the speed and force of wind[J]. *Journal of Shanghai Dian Ji University*, 2005, 8(3): 22–23. (in Chinese)
- 16 彭艳, 张宏升, 许飞, 等. 风杯风速计测风误差的分析研究与订正方法[J]. *气象水文海洋仪器*, 2003(2): 1–11.
Peng Yan, Zhang Hongsheng, Xu Fei, et al. The studying and correction for the overspeed of the anemometer[J]. *Meteorological Hydrological and Marine Instrument*, 2003(2): 1–11. (in Chinese)
- 17 吴丽娟. PFT 风速仪的研制与应用[J]. *工业安全与环保*, 2004, 30(8): 16–18.
Wu Lijuan. Development and application of PFT anemoscope[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2004, 30(8): 16–18. (in Chinese)
- 18 Mullins M A, Van Puttena F P, Bayfordn R, et al. Potential for a smart sensor based on an integrated silicon anemometer[J]. *Sensors and Actuators A*, 1995, 47(1–3): 342–348.
- 19 杨杰. 微机型超声瞬时风速风谱测量系统[J]. *合肥工业大学学报*, 1999, 22(6): 89–93.
Yang Jie. Microprocessor based instantaneous wind speed and wind spectrum measuring system[J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 1999, 22(6): 89–93. (in Chinese)
- 20 胡达明. 杂交稻制种授粉花粉悬浮速度测定与应用研究[J]. *杂交水稻*, 1996(1): 11–13.
Hu Daming. Studies on the measurement and use of pollen suspended velocity in hybrid rice seed production[J]. *Hybrid Rice*, 1996(1): 11–13. (in Chinese)
- 21 胡达明. 不同授粉方式的花粉密度分布与结实效应研究[J]. *杂交水稻*, 1996(6): 21–23.
Hu Daming. Distribution of pollen density and seed setting efficacy under different pollinating methods[J]. *Hybrid Rice*, 1996(6): 21–23. (in Chinese)

Development and Experiment of a Wireless Wind Speed Sensor Network Measurement System for Unmanned Helicopter

Hu Lian Zhou Zhiyan Luo Xiwen Wang Pei Yan Yi'an Li Jiyu

(Key Laboratory of Key Technology for South Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The use of unmanned helicopters (UH) and other aviation aircraft for supplementary pollination in hybrid rice is one of the most important ways to solve the mechanization of the hybrid rice seed production. In order to conduct multi-point, multi-direction, mobile, and real-time measurement for wind field parameters on rice canopy which formed by UH's rotor airflow, a wireless wind speed sensor network system (WWSSN) was developed, and relevant reliability analysis and tests were also presented. The WWSSN consists of three modules, several wireless wind speed sensors (WWSS), the flight global position system (FGPS), and the intelligent control focus node (ICFN). The test results showed that the average relative error of wind speed measuring is not more than 3.52%, the absolute maximum error is 0.2m/s, and no significant difference among each WWSS to reliably and accurately measure the wind velocity field corresponding values, the coefficient of variation is not greater than 4.41%. The fixing brackets can help to install the WWSS in paddy field, and the topological structure between ICFN and WWSSs is a star topology, it is easily to realize multi-point, multi-direction, mobile, and real-time measurement for wind field parameters on rice canopy which formed by UH's rotor airflow. In addition, the FGPS based on high-accuracy RTK GPS can also provide the pose information, which is helpful to the comprehensive analysis of the influencing factors in supplementary pollination using UH. It is indicated that the presented WWSSN can provide reliable and accurate wind field parameters measurement on rice canopy which formed by UH's rotor airflow. It can be used as an effective tool for the operation parameters optimization for supplementary pollination in hybrid rice breeding using UHs.

Key words: Unmanned helicopter Supplementary pollination Wind speed Wind field Wireless sensor network Real-time measurement