

农田信息采集方式及飞行器平台设计*

李继宇, 张铁民, 廖懿华, 祝伟杰

(华南农业大学工程学院 广州, 510642)

摘要 针对目前的航空航天遥感平台成本高、采样精度低、实时性不强的特点,提出了带有采集装置的四旋翼飞行器作为采样农田信息的低空平台。总结了农田土壤信息获取的主要方式与特点,指出四旋翼飞行器将是适合高密度、实时性强等特点的农田信息采集新平台。同时讨论了四旋翼飞行器的国内外研究进展,分析了带有采集装置低空平台的结构构成、惯性测量系统,研制了重量为 1 200 g,续航时间大于 20 min 的低空平台样机,并提出了远地面无线传感器获取、近地面旋翼风作用和直接接触地面采集的 3 种新采集方式。

关键词 农田信息; 采样方式; 飞行器平台; 四旋翼

中图分类号 S252; V222

引 言

如何快速、高密度、准确地获取各种农田信息一直是农业工程科学研究中关注的热点(难点之一),也是“精准农业”技术体系中最重要的一环。目前,我国在以“3S”技术为基础的“精细农业”实施过程中,非接触式获取大面积基础田间数据的主要方式还是遥感(RS)技术。近 30 年来,RS 技术在大面积作物产量预测、农情宏观预报等方面做出了重要贡献。目前,由于卫星遥感数据尚达不到必要的空间分辨率和提供满足农作需要的实时性^[1],使其在“精细农业”实施中的作用大打折扣。

现在已经提出的获取农田信息的遥感方式(如卫星遥感、航空遥感以及民航飞机遥感等)或多或少存在缺陷或不足,主要在以下几方面需要改进:提高空间分辨率需要拉近空间的距离且具有自稳定性;实时性强就必须摆脱遥感卫星周期式地提供数据;获取的信息准确易解析,则要求获取信息的平台带有采集装置,获取信息的方式最好具有直接接触的能力;连续获取高密度数据需要平台在短时间内具有快速移动的能力。针对以上特点,笔者提出了一种全新的低成本获取农田信息的方式,基于自悬停飞行的可接触式获取农田信息低空平台。

1 农田信息采集方式分类

农田信息主要包括田间地形地貌、土壤综合信息、气候信息、作物生长信息及病虫害信息等因素。其中优先需要考虑的是土壤综合信息,包括土壤含水率、土壤养分、土壤电导率、土壤 PH 值和耕作层深度及耕作阻力。上述众多变量参数中,都具有量大、多维(信息多种多样)、动态、不确定性(系统的噪声或随机噪声)、不完整、稀疏性及时空变异性强等特点^[2],获取的方式各有不同。国内外学者已经针对各种土壤信息获取方法做了大量的研究,也对农田信息获取方式做了综述与总结,但目前针对采样方式的分类研究还没有见到。

1.1 土壤信息采集方式

土壤信息是农田信息中最重要、最复杂的信息。现将国内外多位学者对土壤信息的采集方式^[3-9]按照样本类型、采样密度、采样实时性、采样方式和采样工具做了归纳与分类,详见表 1~3。

1.2 采样方式分类

土壤信息按照采样不同的对象及重要性分为 3 大类,分别是含水率、养分及电导率、PH 值和耕作阻力。其中采样方式数量为含水率 11 种、养分及电导率 5 种、PH 值与耕作阻力系数 5 种。综合土壤

* 国家高技术研究发展计划(“八六三”计划)资助项目(SS2013AA100303);机器人学国家重点实验室开放课题(RL2012-O02)
收稿日期:2011-10-22;修改稿收到日期:2012-11-01

表 1 土壤含水率采样方式分类

方式名称	样本类型	采样密度	采样实时性	采样精度	采样方式	采样工具
传统烘干称重法	点样	低	无	高	接触型	实验室仪器
中子仪法	点样	较低	人工实时	一般	接触型	固定仪器
γ -射线法	点样	低	无	一般	接触型	实验室仪器
计算机断层扫描法(CT)	点样	较低	无	一般	接触型	固定仪器
时域反射仪法(TDR)	点样	中	人工实时	较好	接触型	便携式仪器
探地雷达法(GPR)	点样	较多	人工实时	较低	非接触型	便携式仪器
张力计法	点样	中	人工实时	一般	接触型	便携式仪器
分离示踪剂法	点样	中	人工实时	一般	接触型	便携式仪器
微波遥感	面样	较高	人工实时	较低	非接触型	便携式仪器
高光谱遥感	面样	高	半实时	较低	非接触型	遥感卫星
无线传感器网络	点样	较低	实时	一般	接触型	无线传感器

表 2 土壤养分及导电率采样方式分类

方式名称	样本类型	采样密度	采样实时性	采样精度	采样方式	采样工具
土壤主要营养元素快速测定仪	点样	较低	人工实时	一般	接触性	便携式仪器
基于离子选择电极(ISEs)	点样	中	车载实时	较低	接触性	车载仪器
可见光-近红外车载变量磷肥施肥系统	点样	较高	车载实时	较低	非接触型	车载仪器
电流-电压四端法	点样	较低	人工实时	一般	接触型	车载/便携
基于时域反射仪	点样	中	人工实时	一般	接触型	固定仪器

表 3 土壤 PH 值和耕作阻力采样方式分类

方式名称	样本类型	采样密度	采样实时性	采样精度	采样方式	采样工具
光纤 PH 值传感器	点样	较低	人工实时	一般	接触型	便携式仪器
基于 PH-ISFET 电极测量的方法	点样	较低	人工实时	一般	接触型	便携式仪器
现场采样	点样	低	无	高	接触型	实验室仪器
手动圆锥仪	点样	较低	人工实时	较低	接触型	便携式仪器
机械式电测圆锥仪	点样	中	人工实时	一般	接触型	便携式仪器

信息的 21 种采样方式,按照样本类型、采样密度、采样实时性、采样精度和接触类型分别讨论如下。

样本类型只有两种,定点采样与大面积采样。但因为采集的原理不同与方式的多样化,定点采样里也包含单一定点采样与人工多点采样;大面积采样里既包含遥感卫星的大片农田图片样本,也包括航空等手段采集的小范围农田信息样本。

采样密度大部分都是中低水平,这主要取决于采样工具和采样的成本。采样工具如果是车载/便携式仪器,则采样密度主要取决于人工成本的高低;如果采样工具是无线传感器网络,则采样密度略高于便携式仪器,但仅限固定区域采样,无线模块成本高,模块能量的补给问题都限制了其采样密度的进一步提高;而表 1~3 中采样密度较高的无一例外全部是非接触型采样方式,目前以卫星遥感的采样密度最高。

采样实时性则主要分为 3 种:a. 人工采样到实

验室研究,无实时性;b. 遥感采样取决于卫星的周期;c. 大部分取决于人工采样的时间,基本能做到实时性,近年来发展的一种无线传感器网络则可以做到完全实时性。

采样精度取决于采样的原理和方式,大部分采样方式的精度取决于传感器的精度,但从表中统计可看出,非接触式的采样精度总低于接触式的采样精度。

接触类型只有 2 种:接触型与非接触型。大部分采样方式都采用接触型,但接触型的采样密度也基本偏低。

采样工具主要有 4 种:a. 实验室仪器与固定仪器,这种工具一般精度高,但实时性差,采样密度低;b. 车载/便携式仪器,大部分采样方式都采用这种工具,方便灵活且是接触式采样;c. 遥感平台,目前主要是遥感卫星;d. 无线传感器网络,目前主要应用于土壤含水率的采样中。

从上述讨论中可得出,在采样方式中尽可能提高采样密度是目前农田信息获取中要解决的最关键问题,通过采样方式对比,利用非接触型的遥感采样方式来提高采样密度是今后农田信息采集发展的方向。但目前已见报道的航空航天遥感平台的成本高,信息获取滞后,信息处理方法有限也导致该方式采样精度不高,实时性不强。为了解决这一矛盾,在保留空中平台获取信息速度快,密度高的优势的同时,又要提高其采集信息的精度以及提高卫星采集数据的实时性,那么采用低空飞行的具有自悬停技术的四旋翼飞行器可以解决上述矛盾。

2 四旋翼飞行器研究

2.1 四旋翼飞行器的结构特点

四旋翼飞行器是一种能够垂直起降、自由悬停、多姿态飞行,电力驱动的多旋翼式飞行器。与常规的旋翼式飞行器相比,其总体结构布局属于非共轴式飞行器。虽然电机数量增多了,但结构布局新颖

合理,四只旋翼能够产生更大的升力,能够保证机身携带更多的传感器及其他负载。目前固定翼无人机在技术上已经非常成熟,过去的几十年中在军事领域和民用领域都发挥了巨大的作用,但不能悬停,不能垂直起降,限制了固定翼飞机在农田信息采集中进一步的应用。旋翼机普遍具有垂直起降的能力,随着新型材料、微机电、微惯导以及飞行控制技术的进步,旋翼机得到了迅速发展^[10]。

由于结构的对称性,四旋翼在机械结构与控制方式上有很多其他旋翼机无法比拟的优势,具有对称位置旋翼两两反向旋转,使得整个机身扭矩自动平衡,同时通过调节两对旋翼所产生的升力和扭矩大小来控制飞行器的姿态。与传统的单旋翼直升机结构相比,直升机必须有一个尾翼来平衡机身扭矩,但尾翼对向上的推力没有任何作用,浪费了机身能源;与较大旋翼飞机相比,四旋翼机的旋翼一般更小,转速更高,则其效率也会更高^[10]。Samir Bouabdalla 等各种旋翼机性能综合做了比较^[11-12],如表4中所示,其中1表示差,4表示很好。

表4 垂直起降飞机(VTOL)性能比较

参数	传统直升机	单主旋翼带尾桨式	共轴双旋翼	纵列式双旋翼	四旋翼	软体飞行器	仿鸟飞行器	仿昆虫飞行器
动力成本	2	2	2	2	1	4	3	3
控制成本	1	1	4	2	3	3	2	1
有效载荷/体积	2	2	4	3	3	1	2	1
机动性	4	3	2	2	3	1	3	3
机械简单性	1	2	3	1	4	4	1	1
空气动力复杂性	1	1	1	1	4	3	1	1
低速飞行	4	3	4	3	4	4	2	2
高速飞行	2	4	1	2	3	1	3	3
小型化	2	3	4	2	3	1	2	4
生存能力	1	3	3	1	1	3	2	3
悬停能力	4	4	4	4	4	3	1	2
总和	24	28	32	23	33	28	22	24

从表中可以看出得分最高的四旋翼在机械简单性、空气动力复杂性、低速飞行以及静态飞行上都表现出了优异的性能。分数排第二的共轴双旋翼直升机的性能也不错,但从高速飞行、控制复杂度、低成本与农田信息采集的角度来分析,仍以四旋翼为佳。

2.2 国内外四旋翼研究进展

目前,四旋翼飞行器已经成为国内外研究的热点。国外机构研究四旋翼开展比较早,在加拿大雷克海德大学(Lakehead University)的Tayebi证明了四旋翼结构可以稳定飞行^[13]的基础上,现有的研

究主要集中在3个方面:基于惯导的自主飞行、基于视觉系统的自主飞行和自主飞行器系统。

最典型的基于惯导的自主飞行例子是瑞士洛桑联邦科技学院(EPFL)研究的OS4^[11],如图1所示。长为73 cm,重为235 g,旋翼和机架使用的是美国Draganflyer公司生产的DraganflyerIII的旋翼及机架,同时配有Faulhaber1724电机和MT9-B微惯性测量单元。2004年,OS4已经分别基于多种控制算法(PID、LQ、Backstepping、Sliding-mode)实现了飞行器姿态控制,而OS4II已于2006年实现了室内环境中基于惯导的自主悬停控制。

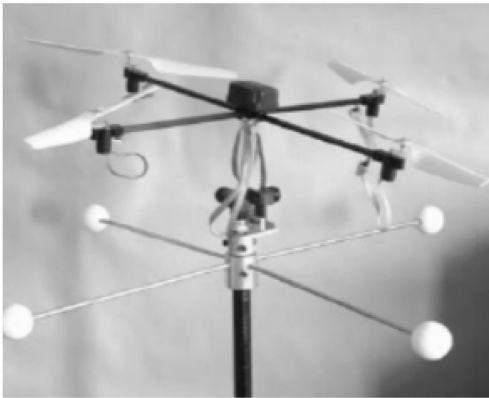


图 1 OS4 飞行器

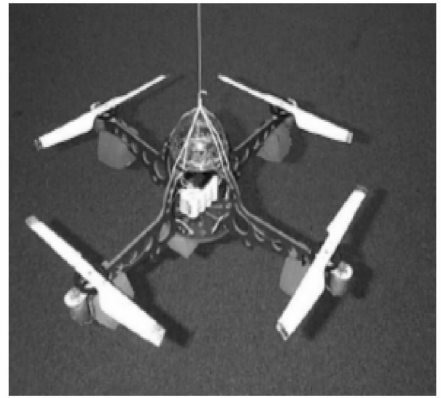


图 2 HMX4 飞行器

基于视觉系统的自主飞行研究的典型代表则是宾夕法尼亚大学研制的 HMX4^[14],如图 2 所示。长为 76 cm,重为 700 g,研究者在飞行器底部做了色彩标记,以方便地面摄像头对色彩标记的跟踪并记录,通过计算可以获得飞行器的姿态角。后来,研究人员在实现自主悬停的基础上又开发了一套基于机载和地面双摄像头的视觉定位与姿态控制系统,能够更好地适应在固定平台自主起飞降落等任务。

斯坦福大学研究的 Mesicopter^[15]则是一个微型旋翼飞行器,机身只有大约一枚硬币大小,旋翼直径为 1.5 cm,厚为 0.08 mm,电机直径为 3 mm,重量为 325 mg。

目前主要是在实验室完成了样机试验,其最终目标则是实现自主飞行和多飞行器的协同飞行。

国内对四旋翼的研究则主要集中在高校与科研院所中,如国防科技大学、南京航空航天大学、北京科技大学和哈尔滨工业大学等^[16]。基本上都是针对飞行器本身做了模型仿真与控制算法,对于四旋翼的姿态控制与自主飞行提出了大量的算法与理论。国内市场上也涌现出各种各样四旋翼飞行器商品,如 XAircraft 公司推出的 X650G 可以配置 13 个传感器,分别用来检测飞行姿态、高度、方向、位置、温度及功耗。X650G 的基本参数如表 5 所示。

表 5 X650G 基本参数

型号	飞行模式	空机重量/g	载重量/g	最大起飞安全重量/g	续航时间/min	电池组容量/mAh	机身尺寸(mm)/直径(mm)	可扩展功能
X650G	悬停/航线	1 100	700	1 800	>12	2 200~5 500	650/265	定点、定高、定向悬停,一键返回

四旋翼飞行器低成本,能够低空自悬停飞行、具有一定的载荷能力、具有导航和通信能力等特点都符合提高采集密度,保持采集速度的要求,同时为了兼顾接触式采集信息精度高的优点,在低空平台设计了能够直接采集农田信息的采集装置。

3 农田信息采集平台结构及采集方式

3.1 采集平台结构及惯性测量系统

基于四旋翼飞行器的采集平台相对于其他飞行器的结构要简单很多,主要包含电源、通信、数据处理与控制、传感器、电机执行以及采集装置。电源中单片电池的电压为 3.7~4.2 V,容量为 2 200 mAh,报警电压为 3.7 V,重量为 190.5 g;无线通信模块发射器型号 T6EXHP,电源为 9.6 V,电流为

250 mA;接收器型号 R138DP,电源要求 4.8 V,电流为 16 mA。采用 Atmega128A 单片机作为四旋翼平台的控制器,最终通过 PID 控制对四个直流无刷电机完成差速控制任务。电机采用型号为朗 2216,其 kV 值为 850,电子调速器接收控制模块的 PWM 指令,调节电流以控制无刷直流电机转速,从而完成对四个旋翼转速的控制。

采集装置由双轴控制云台为主体构成,型号为 CMGOPRO-TP。采集装置在云台的二个舵机基础上增加新的舵机分别实现 3 个自由度的动作控制,其中新增舵机主要实现云台对于传感器悬挂的上下伸缩控制,其控制高度为 0~50 cm,进而可以对飞行器平台悬停飞行时所需农田信息进行实时采集。目前已完成样机的设计与测试,如图 3 所示。

传感器部分由惯性测量系统构成,由陀螺仪、加速度、磁阻等惯性测量单元以及 GPS 等多个姿态传



图3 测试样机

感器数据融合后与PID算法构成。其数据融合流程如图4所示。其中,三轴加速度传感器能够精确地提供静态飞行器与水平面的俯仰与翻滚角度,磁阻传感器能够提供静态飞行器在水平面的偏航角度。采集平台样机的基本参数如表6所示。

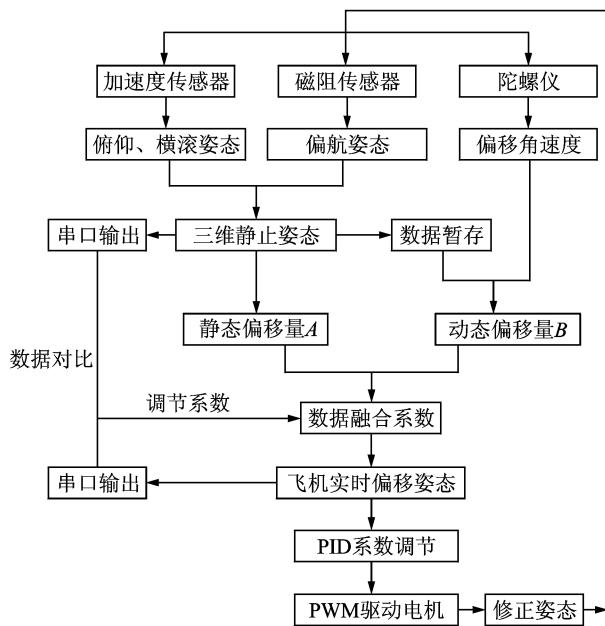


图4 惯性测量系统数据融合

表6 样机及采集装置基本参数

型号	测试方式	整机质量/g	电子调速器/A	直流无刷电机	续航时间/min	电池组容量/mAh	机身尺寸(mm)/直径(mm)	可扩展功能
SCAU-I	三自由度机架	1 200	30(max)	KV880	>20	6 600	575/120	定点、定高、悬停采集

3.2 基于飞行器平台设计采集方式

新的采集平台必然带来全新的采样方式,在保持平台本身实时性强、采样密度高的特点基础上,结合飞行器结构、可挂载传感器类型、旋翼风流场模型、微机电装置以及需要采集农田信息的种类、作物部位、意义和方式,综合考虑后对采集方式初步设计了3种方式。

1) 远地面方式。传感器的位置处于作物冠层的上方3~5 m处,可使用摄像机及各种红外、激光等装置近距离检测植物冠层部分信息,不同于卫星遥感方式,此种方式采集的信息精度高,密度大,对于作物的各种冠层信息是一种全新的检测方式。该方式从硬件角度较易实现,难点在于传感器及农田信息类型的选择。

2) 近地面方式。可利用旋翼风在平台下的流场对作物冠层吹倒后作用于作物茎秆与冠层上,通过直接接触被检测对象的方式获取作物的茎秆信息,此种方式的特点是可以直接实时获取作物茎秆部信息,对于作物的抗倒伏能力及病虫害监测都具有全新的意义。该方式难点在于对旋翼风在作物冠层处的流场作出等效模型,从而进一步研究在流场下作物的冠层与茎秆的受力模型。

3) 直接接触地面方式。采集装置通过微机电

装置的动力接触地面,通过无线传感器将获取到的土壤或作物根部信息传送给飞行器。该方式的特点在于可以获取作物根部实时信息,难点在于微机电装置的投放与回收模式及功耗问题,较前两种相比难度较大。

4 结论

1) 采用低空飞行的具有自悬停技术的四旋翼飞行器在保持获取信息速度快,密度高优势的同时,又能提高采集精度,是对目前农田信息采样方式的有力补充。

2) 采样平台及采样装置的设计参数,其特点满足农田信息的实时采集要求。

3) 基于飞行器平台设计出的采集方式具有新的研究潜力与价值。

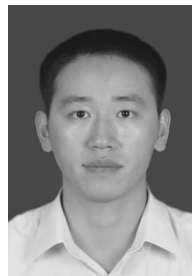
随着研究的进一步深入,相信快速,高密度采集农田信息的成熟方法将指日可待。

参 考 文 献

[1] 汪懋华.“精细农业”发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报,1999,15(1):1-8.

Wang Maohua. Development of precision agriculture

- and innovation of engineering technologies[J]. Transactions of the CSAE, 1999, 15(1):1-8. (in Chinese)
- [2] 罗锡文, 臧英, 周志艳. 精细农业中农情信息采集技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(1):167-173.
Luo Xiwen, Zang Ying, Zhou Zhiyan. Research progress in farming information acquisition technique for precision agriculture[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(1):167-173. (in Chinese)
- [3] 李继宇, 张铁民, 彭孝东, 等. 小型无人机在农田信息监测系统中的应用[J]. 农机化研究, 2010, 32(5):189-192.
Li Jiyu, Zhang Tiemin, Peng Xiaodong, et al. The application of small UAV(SUAV) in farmland information monitoring system[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(5):189-192. (in Chinese)
- [4] 张凯, 刘成良. 车载液压振动式土壤采集装置研究[J]. 南京信息工程大学学报:自然科学版, 2010, 2(4):297-301.
Zhang Kai, Liu Chengliang. Study on vehicle-mounted soil sampling device by hydraulic vibration[J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2010, 2(4):297-301. (in Chinese)
- [5] Abu-Harmdeh N H, Al-Jalil H F. Hydraulically powered soil core sampler and its application to soil density and porosity estimation[J]. Soil & Tillage Research, 1999, 52(1-2):113-120.
- [6] Tseng C, Jiang J, Lee R, et al. Feasibility study on application of GSM-SMS technology to field data acquisition[J]. Computer and Electronics in Agriculture, 2006, 53(1):45-69.
- [7] 张淑娟, 赵飞, 王凤花, 等. 基于 PDA/GPS/GIS 的田间信息采集方法及其精度分析[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8):202-204.
Zhang Shujuan, Zhao Fei, Wang Fenghua, et al. The field information collection methods of PDA/GPS/GIS and its accuracy analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2007, 38(8):202-204. (in Chinese)
- [8] 胡建东, 赵向阳, 李振峰, 等. 参数调制探针式电容土壤水分传感器技术研究[J]. 传感技术学报, 2007, 20(5):1057-1060.
Hu Jiandong, Zhao Xiangyang, Li Zhenfeng, et al. Technique considerations on the use of a probe capacitance sensor with parameter modulation for measuring soil moisture content[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2007, 20(5):1057-1060. (in Chinese)
- [9] 邵玲, 林剑辉, 孙宇瑞. 农田土壤含水率与坚实度快速信息采集系统[J]. 农机化研究, 2007, 2(2):83-86.
Shao Ling, Lin Jianhui, Sun Yurui, et al. Quick measuring system for soil water content and soil hardness[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 2(2):83-86. (in Chinese)
- [10] 李占科, 宋笔锋, 宋海龙. 微型飞行器的研究现状及其关键技术[J]. 飞行力学, 2003, 21(4):1-4.
Li Zhanke, Song Bifeng, Song Hailong. Study on actualities of micro air vehicles and its key technologies[J]. Flight Dynamics, 2003, 21(4):1-4. (in Chinese)
- [11] Samir B, Marcelo B, Roland S. Autonomous miniature flying robots: coming soon! [J]. IEEE Robotics & Automation, Magazine, 2007, 14(3):88-98.
- [12] Adbelhamid T, Stephen M. Attitude stabilization of a VTOL quadrotor aircraft[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2006(3):562-571.
- [13] Suresh K K, Kahn A D, Yavrucuk I. GTMARS-flight controls and computer architecture [M]. Atlanta: Georgia Institute of Technology, 2000:26-28.
- [14] 岳基隆, 张庆杰, 朱华勇. 微小型四旋翼无人机研究进展及关键技术浅析[J]. 电光与控制, 2010, 17(10):51-52.
Yue Jilong, Zhang Qingjie, Zhu Huayong. Research progress and key technologies of micro quad-rotor UAVs[J]. Electronics Optics & Control, 2010, 17(10):51-52. (in Chinese)
- [15] 符冰, 方宗德, 侯宇. 一种新型微旋翼飞行器的设计与控制[J]. 航空制造技术, 2006(5):91-94.
Fu Bing, Fang Zongde, Hou Yu. Design and control of a new style rotor-wing micro air vehicles[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006(5):91-94. (in Chinese)
- [16] Ren Yanyun, Huang Qiang, Li Long. The design of T-4 micro UAV test-bed based on MemS sensors[C]// Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems, Zhuhai, China; IEEE Conference Publications, 2006:1523-1526.



第一作者简介:李继宇,男,1979年12月生,博士研究生、讲师。主要研究方向为飞行器在农业上的应用。曾发表《小型无人机在农田信息监测系统中的应用》《《农机化研究》2010年第5卷第32期》等论文。
E-mail:lijiyu@scau.edu.cn

通信作者简介:张铁民,男,1961年11月生,教授。主要研究方向为农业电气化与自动化。
E-mail:tm-zhang@163.com