



智能无人机综述

Intelligent UAV

清华大学自动化系 张涛 芦维宁 李一鹏



张涛

清华大学自动化系教授,博导,自动化系副主任。曾先后在德国慕尼黑工业大学、日本国立佐贺大学和日本国立信息学研究所学习和工作近8年。主要研究方向为控制理论、机器人学、微小卫星工程、飞行器控制等。近10年来发表论文120余篇,其中SCI收录20余篇,EI收录70余篇,ISTP收录30余篇。国际IEEE学会高级会员,国际IEICE学会会员,北京分会主席。担任中国人工智能学会理事,中国自动化学会教育工作委员会秘书长,中国自动化学会空间及运动体控制专业委员会委员,中国人工智能学会生物信息学及人工生命专业委员会秘书长,中国人工智能学会空天智能专业会委员,中国航空学会会员等。

智能无人机是一个复杂的集成系统,需要飞行器设计、空间定位、路径规划、飞行控制、图像识别等各方面技术的支持。为了充分利用这些技术,研究者们通常会将各个功能模块化,通过合理的架构设计将其整合,达到智能控制的最终目的。

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)是指不经由驾驶员直接操作,可自主或通过远程控制完成飞行行为及其他一些特定动作的空中机器人系统。

无人机技术的关键问题就是如何设计合理的控制方式代替飞机驾驶员在有人机系统中的位置。根据无人机不同的控制方式,可将无人机系统分成以下3类^[1-5]。

(1) 基站控制。

基站控制式无人机也称为遥控无人机(Remotely Piloted Vehicle, RPV)。在无人机飞行的过程中,需要地面基站的操作员持续不断地向被控无人机发出操作指令。从本质上看,基站控制式无人机就是结构

复杂的无线电控制飞行器。由于无线电控制技术在空间上的局限性,现代无人机已经很少采用纯粹的基站控制方式来实现无人驾驶。

(2) 半自主控制。

20世纪80、90年代出现的“Pointer”、“Sky Owl”无人机系统采用的是基站导航和预先设定导航程序相结合的控制方式,这是无人机半自主控制的最早形式之一。半自主的无人机控制方式可以描述为“基站可随时获得无人机的控制权,并且在飞行过程中某些关键动作需由基站发出指令,如起飞、着陆等,除了这些关键动作,无人机可以按照事先的程序设定进行飞行和执行相关动作”。

(3) 完全自主控制(智能控制)。

完全自主控制无人机又称为智能无人机,可以在不需要人工指令的帮助下完全自主地完成一个特定任务。一个完整的智能无人机系统具备的能力包括自身状态的监控、环境信息的收集、数据的分析及做出相应的响应。

为了进一步研究无人机的自主性,2000年美国提出了AO(Autonomous Operations,自主作战)概念。它是由美国海军研究实验室(NRL)和美国空军研究实验室(AFRL)的传感器飞机项目组率先提出推广的。对于未来的无人机,增强飞行器的信息处理能力是实现AO的关键。为了深入研究无人机的AO,AFRL又定义了自主控制等级

(Autonomous Control Level: ACL)的10个等级^[6],作为标准衡量无人机在自主程度方面的水平,如图1所示。

NASA飞行器系统计划(Vehicle Systems Program, VSP)高空长航时部(Department of High Altitude Long Endurance, DHALE)在对以上划分分析的基础上,提出了评价高空长航时无人机自主性的量化方法。该方法划分的层次和意义更加明确,并具有更好的实际可操作性,如表1所示。

综合国内外的研究和分析,王英勋等^[7]根据国内无人机行业及学术研究的发展,提出一种自主控制的能力分级。

0——完全结构化的控制方案和策略,对自身和环境变化没有做出反

应的能力(自动控制);

1——能够适应对象和环境的不确定性,具有变参数、变结构的能力;

2——具有故障实时诊断、隔离和根据故障情况进行系统重构的能力;

3——能够根据变化的任务和态势进行决策和任务重规划的能力;

4——具有与其他单体或系统进行交互、协同的能力;

5——能够自主学习,具有集群自组织协调的能力。

智能无人机研究现状

在2009年之前,无人机领域的研究成果还是以半自主的控制方式为主,并且在侦查、目标监测、目标跟踪、民用生产等方面,均取得了很有价值的研究成果^[8-12]。

此后,研究人员们逐渐将研究的重点转移到对智能无人机的研究上来。智能无人机是一个复杂的集成系统,需要飞行器设计、空间定位、路径规划、飞行控制、图像识别等各方面技术的支持。为了充分利用这些技术,研究者们通常会将各个功能模块化,通过合理的架构设计将其整合,达到智能控制的最终目的。智能无人机的设计架构可以用图2^[13]来进行描述。

1 有地面站参与数据处理的自主控制

在研究的初始阶段,由于机载处理器性能的限制,研究人员选择将数据发送到地面基站进行运算处理,然后传回给无人机,指导无人机运动。由于在这个过程中一般是没有人工的参与,所以也能算智能控制的一种,但地面处理器和无人机之间通信性能对这种控制方式的鲁棒性和自主性影响较大。

Bachrach^[14]研究中所描述工作是典型的例子,该工作可实现让无人机在一个未知环境中进行探索,同时完成二维的环境建模,并完成了部分三维建模的工作。作者将搭载在无

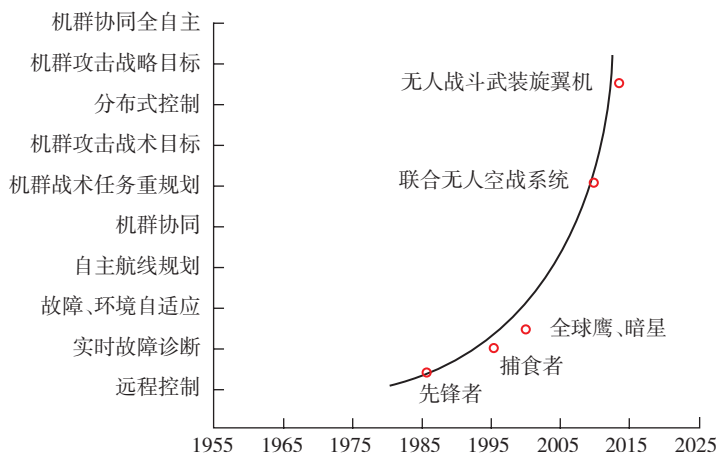


图1 美国军用研究实验室的无人机自主控制层级划分

表1 NASA飞行器系统计划高空长航时部定义自主等级

等级	名称	描述	特征
0	遥控	人在回路的遥控飞行(100%掌控时间)	遥控飞机
1	简单的自动操作	依靠自控设备辅助,在操作员监视下执行任务(80%掌控时间)	自动驾驶仪
2	远程操作	执行操作员预编程序任务(50%掌控时间)	无人机综合管理预设航路点飞行
3	高度自动化(半自主)	可自动执行复杂任务,具有部分态势感知能力,能做出常规决策(20%掌控时间)	自动起飞/着陆链路中断后可继续任务
4	完全自主	具有广泛的态势感知能力(本体及环境),有能力和权限做全面决策(<5%掌控时间)	自动任务重规划
5	协同操作	多架无人机可团队协作	合作和协同飞行

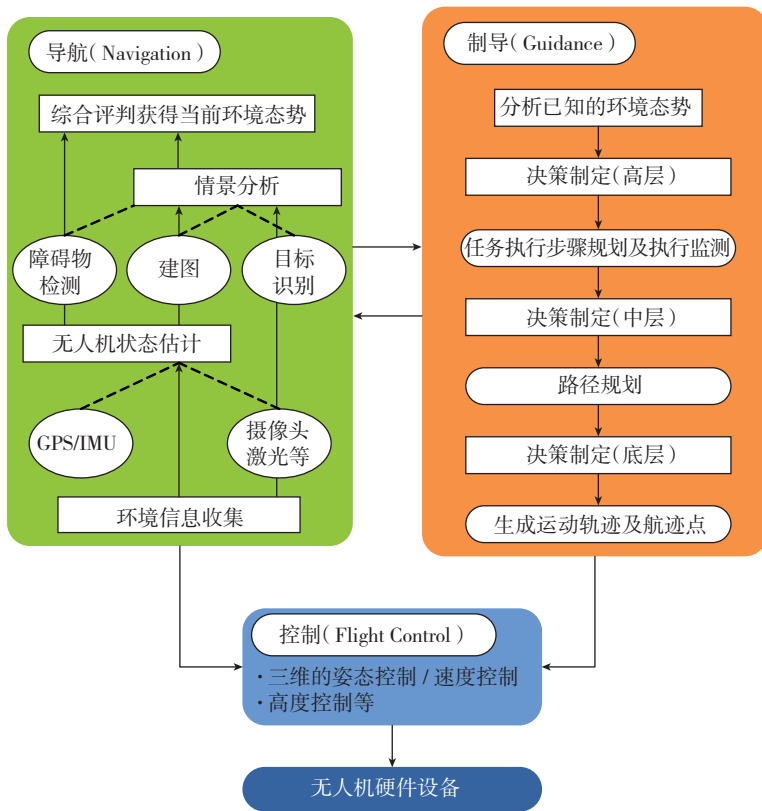


图2 智能无人机控制结构

人机上的传感器收集到的原始数据传回地面站,用不同的算法模块(建模、定位、避障)进行数据处理,将处理好的数据结果发送给无人机,完成无人机的定位和路径规划。其处理流程如图3^[14]所示。

类似工作还出现在 Bachrach^[15]、Grzonka^[16]、Blösch 等^[17] 研究中。在

Bachrach^[15]、Grzonka 等^[16] 研究中,无人机将收集到激光数据传送到地面站进行计算处理,获取定位信息。Blösch 等^[17] 用视觉采集室内信息,传回地面站计算,完成无人机在未知环境中的自主探索。

随着处理器设计工艺的提升,以及研究人员们对算法的不断优化,上

述这种方式逐渐被所有数据处理均在机载处理器上进行的方式所取代,这种方式更接近于人们理想中定义的智能无人机的形式,即一旦无人机起飞,其机载处理器将全权扮演大脑的角色,通过对环境信息的处理分析来自主的做出响应。

2 完全自主控制

Kasaei^[18]、Shen^[19]、Achtelik^[20]、Tomic 等^[21] 工作实现了无人机的智能控制,所有的数据处理工作均在机载处理器上完成。其中,Kasaei 等^[18] 为智能无人机选取全方位视觉系统,采用 SVM 算法和人工势场法来实现无人机在室内的定位和路径规划。Shen 等^[19] 在机载处理器上集成了不同的算法模块,包括 SLAM 模块、路径规划模块等,并为无人机增加了防空气动力扰动的控制模块,实现了无人机对多楼层建筑物的自主探索和对环境的二维建模。

Achtelik 等^[20] 通过单目摄像头和无人机惯导数据的融合实现无人机室内、室外的定位及自主飞行,甚至是室外有风的条件下,该文的算法也有效。文中通过惯性传感器的数据对图像信息进行滤波,解决了无人机高机动运动过程中摄像头收集数据频率太低不能满足位置更新要求的问题。

Tomic 等^[21] 为四旋翼无人机配备了激光和立体摄像头来实现室内、室外的定位,考虑到机载处理器的存储能力有限,研究人员在室外环境时不建立几何地图,而是通过识别路标来纠正漂移量,实现大范围环境下的定位。多块机载处理器也同时加载在无人机上,从而明显提高了无人机的处理数据能力。在文中的试验部分智能无人机系统完成了从室内自主寻找窗口并飞到室外的过程。

3 其他一些与智能无人机相关的技术研究

Kristina^[22] 中提到可以应用到智能无人机上的快速识别障碍物的图

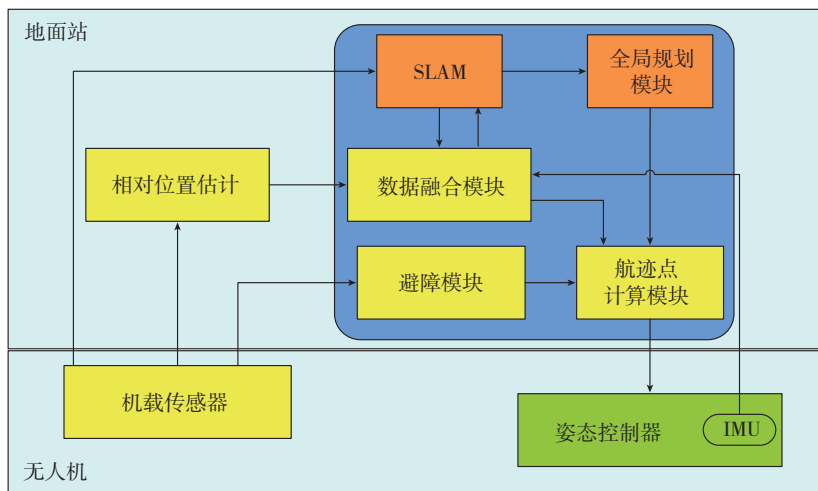


图3 无人机数据处理流程

像识别技术。Kim 等^[23]研究为固定翼无人机设计了基于视觉的全自主撞网回收系统。

可以看出,目前关于智能无人机方面的研究工作还有需要解决的问题,大多工作的研究成果仅限应用于该工作中所设计的试验场景,而其鲁棒性并没有在实际环境中得到验证。并且由于对不同的使用目的,如室内搜救、室外追踪等,相应的智能无人机的设计架构、传感器的使用是不完全一样的,这些都需要以后在面对实际问题时进行具体的考虑和设计。

智能无人机应用实例

智能无人机由于其实现技术的难度较高,所以现阶段能够真正投入使用的智能无人机较少。现在可以投入使用的智能无人机包括:

(1) LA100 无人机。

LA100 被认为是世界上第一台可完全自主控制并可实际应用的智能无人机^[24],是一架专业的摄像无人机,由法国 Lehmann Aviation 公司专门为 GoPro HERO3 相机而设计,并于 2012 年开始销售(图 4)。

LA100 可从出发点起飞,5min



图4 LA100无人机

后带着获取的图像信息自主返回起点,其飞行高度为 80~100m,飞行时速可达到 80km/h。LA100 可适用于多种比较恶劣的环境,如其可飞行环境温度为 -25~60℃,潮湿或高风阻的天气均可飞行。

(2) X-47B 无人机。

美国海军 X-47B 无人飞机于 2013 年 5 月 14 日首次从航空母舰起飞,这意味着智能无人机已经正式

登上了军事应用的舞台。X-47B 凭借智能控制,在不需人工干涉的条件下,可以能独立执行任务。

X-47B 无人机上配备有全球定位系统、自动巡航系统,防撞感应器等,并且可以根据收集到的目标信息自主决定对目标的打击,是集监控、情报收集和军事打击为一体的军用智能无人机。

智能无人机的发展趋势

智能无人机今后的发展主要有以下 3 个趋势。

(1) 应用场景的不断扩展。

无人机在国防军事上的作用已经得到了众多国家的认可和重视,未来智能无人机必将有着广阔的军事发展前景和战略意义。与此同时,无人机的使用范围已经从设计之初的军事应用逐渐向民用市场扩展,比如田间农药喷洒、商业航拍、灾后搜救等。而且,随着无人机自主控制性能的提升及智能无人机技术的不断完善,会有更多重复性强、危险性高、不适宜人们直接操作的任务需要无人机为我们代劳。

(2) 智能无人机系统将高度集成,配备不同的功能模块。

要使无人机真正实现“智能”,需要无人机具备应对各种不同情形的能力,单一的行为模块已经不能够满足需求,这就需要将不同的功能模块集成在无人机上,如避障、定位、目标识别等。通过对各种可能发生情况的全覆盖考虑,实现无人机的“智能”工作。

(3) 从单一智能无人机向多智能无人机协作发展。

当面对复杂任务的时候,多智能无人机系统具备单一智能无人机所不具备的优势,一是对任务的执行效率高;二是系统的鲁棒性强,即使其中一架无人机损坏,还能够通过其他队员在功能上的弥补继续完成任务;三是多无人机系统可以将任务模块

分散到不同的无人机上进行处理,避免单个无人机运算复杂度过高。所以,多智能无人机协同工作也是智能无人机的发展趋势之一。

参考文献

- [1] Nas M. Pilots by proxy: Legal issues raised by the development of unmanned aerial vehicles. [2013-05-22]. <http://www.uatar.com/Legal%20Paper%20on%20UAVs>.
- [2] Unmanned systems integrated roadmap FY2011-2036. Department of Defense, USA, 2011.
- [3] Clapper J, Young J, Cartwright J, et al. Unmanned systems roadmap 2007-2032. Washington: Office of the Secretary of Defense, 2007.
- [4] Austin R. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and deployment. Wiley, 2011.
- [5] Gupta S G, Ghonge M M, Jawandhiya P M. Review of unmanned aircraft system (UAS). International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET), 2013, 2(4): 1646-1658.
- [6] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2035. Department of Defense, USA, 2005.
- [7] 王英勋,蔡志浩.无人机的自主飞行控制.航空制造技术, 2009(8): 26-31.
- [8] Casbeer D W, Kingston D B, Beard R W, et al. Cooperative forest fire surveillance using a team of small unmanned air vehicles. Int J Syst Sci, 2006, 37(6): 351-360.
- [9] Frew E, McGee T, Kim Z, et al. Vision-based road-following using a small autonomous aircraft// Proc. 2004 IEEE Aerospace Conf., Big Sky, MT, 2004: 3006-3015.
- [10] Quigley M, Goodrich M, Griffiths S, et al. localization, and surveillance using a fixed-wing mini-UAV and gimbaled camera//Proc. 2005 IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Barcelona, Spain, 2005: 2600-2605.
- [11] Girard A, Howell A, Hedrick K. Border patrol and surveillance missions using multiple unmanned air vehicles//Proc. IEEE Conf. Decision and Control, 2004: 620-625.

本文共有参考文献 24 篇,因篇幅所限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。

(责编 良辰)