

精密进场雷达引导无人机自主着陆综述

陈晓飞*, 董彦非

南昌航空大学 飞行器工程学院, 江西 南昌 330063

摘 要: 自主安全着陆是当前无人机研究中的一项重要内容。首先介绍和比较了几种引导无人机着陆的方式, 分析了各自的优缺点, 指出精密进场雷达在引导无人机自主着陆方面有广泛的应用空间, 然后介绍了精密进场雷达引导无人机自主着陆的过程, 最后对无人机自主着陆研究进行了展望。

关键词: 精密进场雷达; 无人机; 自主着陆

中图分类号: V249.32+4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-5453 (2014) 01-69-4

飞机进场着陆是执行作战任务的重要阶段。其主要特点是: 飞行速度和高度低、受气象条件和地理环境等因素影响较大、对飞行员的驾驶技术要求高。因此, 在这个阶段发生的飞行事故, 尤其是严重飞行事故比较多^[1]。据统计, 虽然着陆的时间只占整个飞行任务的1%~3%, 但着陆事故约占整个飞行事故的1/3^[2]。分析事故原因, 缺乏先进着陆引导设备是一个重要原因。因此, 装备先进的着陆引导设备对飞行员圆满完成作战任务, 尤其是对于保障飞行安全极为重要。无人机在自主着陆过程中, 由于没有驾驶员, 其安全问题更是突出。无人机能否安全、精确地着陆将直接关系到无人机能否安全顺利回收以及飞行任务能否圆满完成。针对无人机着陆阶段的安全问题, 自主着陆引导技术成为各国无人机研究的一项重要内容^[3-4]。

1 引导无人机着陆方式

目前, 世界各国已有多种无人机着陆引导技术, 如视觉引导技术、微波着陆引导技术、精密进场雷达引导技术等。

近年来, 计算机视觉技术在无人机自主着陆方面得到了广泛的应用, 并获得了一定的成功^[5-7]。视觉引导技术是将计算机视觉应用于无人机自主着陆方式的一种新型引导技术。它是

利用各种成像系统(如摄像机等)代替视觉器官作为输入敏感手段, 通过图像处理得到无人机位置参数。视觉传感器具有轻便、低功耗、体积小等优点。此外, 视觉导航系统的工作波段远离当前电磁对抗的频率范围, 且具有成本低、自主性强、信息量大、无源性和信息丰富等优点^[8-10]。但是视觉引导技术的定位精度会因不同的应用场景及实现方法而存在较大的差别^[11-12]。尤其是在恶劣天气情况下, 无人机机载传感器很难获得比较清晰的图像, 从而影响无人机自主着陆的安全性和精确性。

对于微波着陆引导技术, 机载接收机通过接收地面方位台和仰角台信号, 从而获得飞机相对于跑道中心线的方位角和相对于跑道水平面的俯仰角; 通过询问应答方式获得飞机相对于测距天线相位中心的距离。在着陆过程中, 无人机微波着陆引导系统机载设备对直接获得的角度和距离信息进行坐标变换, 由地面设备的制导信息导出飞机相对于着陆点的位置坐标, 实现无人机精密着陆。微波着陆引导技术虽然具有引导精度高, 比例覆盖区大, 能提供各种进场航线和全天候引导功能, 但存在造价高、地面和机载设备要求高, 换装代价较大等缺点, 所以该技术的发展受到限制^[13-15]。

精密进场雷达引导技术首先是由精密进场雷达向无人机

收稿日期: 2013-10-08; 录用日期: 2013-11-08

基金项目: 航空科学基金(2011ZA56001); 江西省研究生创新专项基金(YC2011-S096)

*通讯作者. Tel.: 15979196814 E-mail: aircraft886@163.com

引用格式: CHEN Xiaofei, DONG Yanfei. Review of precision approach radar guide Unmanned Aerial Vehicle (UAV) automatic landing[J]. Aeronautical Science & Technology, 2013, 24(4): 69-72. 陈晓飞, 董彦非. 精密进场雷达引导无人机自主着陆综述[J]. 航空科学技术, 2013, 25(1): 69-72.

发射进场引导信号,下滑斜率和中心偏差信息,并不断精确的测量着陆过程中无人机的位置以及提供无人机位置的坐标变换,指令控制和着陆跑道位置坐标,实时向无人机发送着陆坐标数据,然后无人机根据接收到的坐标数据作出调整,保持无人机沿着预设下滑轨迹着陆见图1。精密进场雷达引导技术具有引导精度高,全天候引导能力的特点,可用于能见度差、云底较低的复杂气象条件下引导飞机着陆,且对机载设备要求不高。因此,精密进场雷达引导技术在无人机自主着陆方面得到了广泛的应用。

2 精密进场雷达引导无人机着陆过程

精密进场雷达是引导飞机进场着陆的三坐标雷达,又称着陆雷达。它通常设置在跑道的一侧,朝向飞机着陆方向,用于能见度差、云底较低的复杂气象条件下引导飞机着陆。其主要任务是发射进场引导信号,向无人机发送下滑斜率和中心偏差信息,以及提供飞机位置的坐标变换,以产生飞行线路、指令控制和着陆跑道位置坐标,并完成监视、交通管制、引导功能^[16-18]。

这种新一代进场引导雷达的主要特点为固态化、数字化、高可靠、抗干扰、抗反辐射武器以及可以在恶劣气候条件下(如在大雨和浓雾条件下)搜索精确跟踪着陆飞机并显示在精密进场雷达显示屏上。精密进场雷达由天线、发射机、接收机和显示器等组成。工作在3cm波段,探测范围通常为方位 $-10^{\circ}\sim+10^{\circ}$,

俯仰 $-1^{\circ}\sim+8^{\circ}$,探测距离通常为20~40km。当飞机进场着陆时,航向天线和下滑天线辐射的波束分别左右、俯仰扫描,轮流探测飞机,测得飞机的方位、仰角和距离,并分别在方位和仰角显示器上显示出目标的对应位置,着陆引导领航员将显示器上目标位置与飞机预定进场着陆航向、下降航道比较,通过地空通信电台指挥飞机修正或保持航向和下滑角,引导飞机安全着陆。

无人机自主着陆过程需要有高精度的引导系统。当无人机进入跑道端时,必须把精度控制在几米以内,其中水平定位精度为3~5m,垂直定位精度为0.5m。精密进场雷达作为地面控制进场飞机着陆系统的一个重要部分,在无人机最后进入跑道时精确测量其位置。精密进场雷达为无人机提供进场终段的制导信息,这些信息对恶劣的天气或夜间情况下无人机自主着陆是非常重要的。无人机的着陆过程可以分为四个阶段,包括进场平飞阶段,直线下滑阶段,拉平阶段和地面滑跑阶段^[19-21]。其过程示意图如下图2所示。

在进场平飞阶段,无人机保持在300~500m高度飞行,首先使用架设在机场附近高处的空中监视雷达准确地测量无人机在空中的位置,并给出指令,让无人机不断调整航向,使无人机航向与跑道平行。在直线下滑阶段,当无人机截获下滑指令时,开始进入下滑阶段,此时由用配置在跑道附近的精密进场

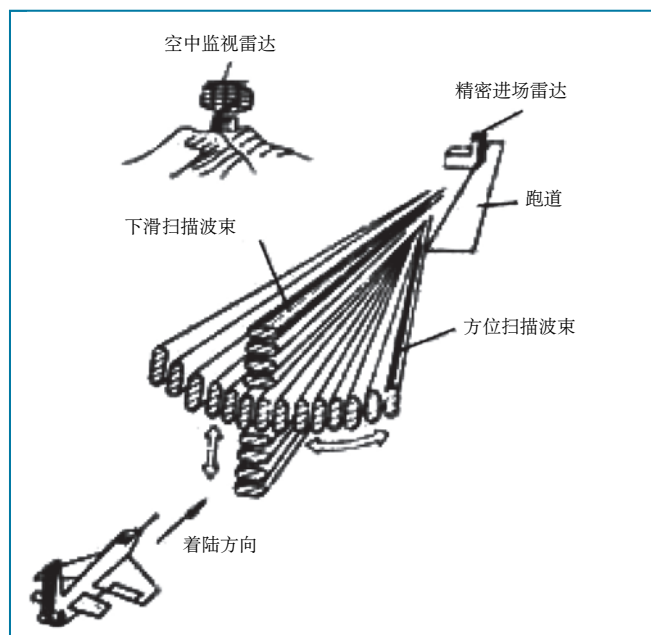


图1 地面控制进场飞机着陆引导系统

Fig.1 Aircraft landing guidance system of ground control approach

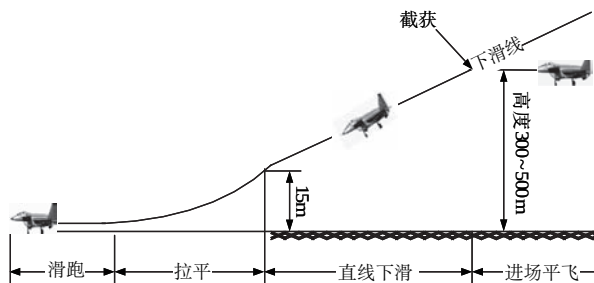


图2 无人机着陆过程示意图

Fig. 2 Schematic diagram of UAV landing process

雷达测定无人机在空中的实时准确位置,并给出下一时间的空间坐标,无人机根据接受到的数据进行不断地调整,从而使无人机保持在预设下滑轨迹附近可接受范围内。其过程示意图如图3和图4所示。在地面滑跑阶段,当机轮接触地之后,无人机可采用阻力板、机轮刹车等方法减少其滑行的距离。在滑行过程中为了使飞机沿跑道中心线直线滑行,可以在三轮滑跑初始阶段通过调整控制方向舵来达到调整航向的目的,当速度下降到某一固定值时,再采用后轮不对称点刹来达到减速和调整无人机滑行方向的目的。

精密进场雷达引导无人机自主着陆的关键技术包括引导雷达技术,数据传输技术和无人机飞行控制技术。雷达技术是

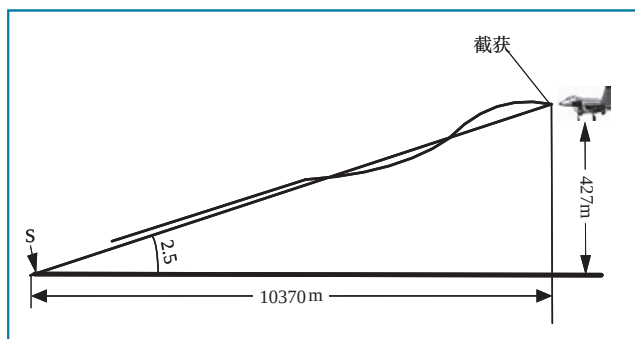


图3 精密进场雷达引导无人机纵向下滑轨迹示意图

Fig. 3 Diagram of UAV longitudinal glide trajectory guided by precision approach radar

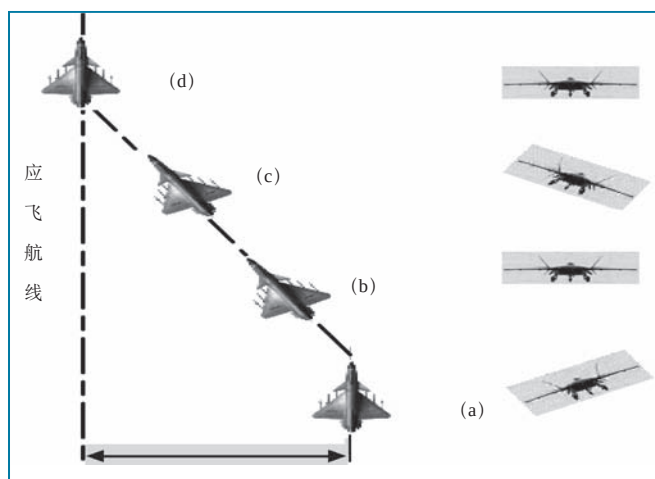


图4 精密进场引导雷达引导无人机横向偏离纠正过程

Fig. 4 Lateral deviation correction of UAV guided by precision approach radar

指雷达精确定位能力;数据传输技术是指雷达向无人机发送数据的能力;无人机飞行控制技术主要是指从无人机地面雷达系统接收遥控指令然后控制无人机完成自主着陆的能力。

3 展望

未来,无人机自主着陆技术的研究主要包括引导设备和无人机两个方向。引导设备的发展方向之一是提高引导设备抗干扰能力,提高其工作可靠性;其二,提高引导设备发送数据的精度;其三,研究提高引导设备精确定位能力和数据处理能力,以及可以同时引导多架无人机自主着陆的能力;其四,小型化。

无人机的主要发展方向之一是容错飞行控制系统,研究无人机如何处理雷达的跳点和数据误差,以及提升无人机处理数据的速度。

AST

参考文献

- [1] 李四海,惠鹏洲,冯培德. 惯性/DGPS 精密进场着陆引导系统[J]. 中国惯性技术学报,2000,8(1):16~20.
LI Sihai, HUI Pengzhou, FENG Peide. INS/DGPS guide system for aircraft precision approach and landing [J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2000, 8(1): 16~20. (in Chinese)
- [2] 周树春. 基于GPS的无人机自动着陆控制系统设计与实现[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.
ZHOU Shuchun. Automatic Landing UAV control system design and implementation based on GPS [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007. (in Chinese)
- [3] 唐大全,毕波,王旭尚,李飞,沈宁. 自主着陆/着舰技术综述[J]. 中国惯性技术学报, 2010, 18(5): 550-555.
TANG Daquan, BI Bo, WANG Xushang, LI Fei, SHEN Ning. Summary on technology of automatic landing/carrier landing[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2010, 18(5): 550-555. (in Chinese)
- [4] 阮利锋. 小型无人直升机自主着陆视觉导航系统设计与仿真[D]. 上海: 上海交通大学, 2009.
RUAN Lifeng. Design and simulation of a visual navigation system for small-scale unmanned helicopter autonomous landing [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese)
- [5] 邱力为, 宋子善, 沈为群. 用于无人直升机着舰控制的计算机视觉技术研究[J]. 航空学报, 2003, 24(4): 351-354.
QIU Liwei, Song Zishan, Shen Weiqun. Computer vision scheme used for the automate landing of unmanned helicopter on ship deck [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2003, 24(4): 351-354. (in Chinese)
- [6] Srikanth S, James F M, Gaurav S S. Visually guided landing of an unmanned aerial vehicle [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation (S1042-296X), 2003, 19(3): 371-380.
- [7] 许文伟, 徐德民. 用于无人机着陆的图像处理算法 [J]. 火力与指挥控制, 2008, 33(8): 79-91.
XU Wenwei, Xu Demin. The Research of image processing algorithm on UAV landing [J]. Fire Control and Command Control, 2008, 33(8): 79-91. (in Chinese)
- [8] 杨亮. 无人机着陆引导技术[J]. 测控遥感与导航定位, 2009, 39(12): 29-36.
YANG Liang. The landing guide technology for UAV[J]. Measurement and control of remote sensing and the navigation and

- positioning,2009,39(12):29~36. (in Chinese)
- [9] Ettinger S.M.Design and implementation of autonomous vision-guided micro air vehicle [D]. Electrical and Computer Engineering, University of Florida, 2001.
- [10] Scott M.Ettinger, Michel C.Nechyba, Peter D.fju. Towards flight autonomy:vision-based horizon detection for micro air vehicle [J]. 2002 Florida Conference on Recent Advance in Robotics,2002.
- [11] 刘新华.基于视觉的无人机着陆姿态检测和跑道识别[D].南京:南京航空航天大学,2004.
- LIU Xinhua. Vision-based attitude determination and run way recognition for UAV landing[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2004. (in Chinese)
- [12] 嵇盛育.基于计算机视觉的无人机自主着舰导引技术研究[D].南京:南京航空航天大学,2008.
- Ji Shengyu. Research on technology of UAV's automatic landing on ship based on computer vision [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,2008. (in Chinese)
- [13] 吴松.无人机微波着陆引导系统坐标变换算法研究实现[J].计算机测量与控制, 2012,20(6):1665~1668.
- WU Song. Research and implementation for coordinate transformation of uav microwave landing system [J]. Computer Measurement & Control, 2012,20(6):1665~1668. (in Chinese)
- [14] 宁东方.无人机自动着陆控制系统的设计与实现研究[D].西安:西北工业大学,2006.
- NING Dongfang. Research of design and implementation of unmanned aircraft automatic landing control system[D]. Xi'an : Northwest Polytechnical University ,2006. (in Chinese)
- [15] 松炳超.一种新的移动式精密进场雷达[J].现代电子,1995,(3):7-13.
- SONG Bingchao. A new transportable precision approach radar [J]. Modern electronic,1995,3:7-13. (in Chinese)
- [16] 陈栋,丁国胜,冯国彬.航母着舰系统发展趋势[J].现代雷达,2013,35(2):1-3.
- CHEN Dong, DING Guosheng, FENG Guobin. Development Trend of the Landing System on Aircraft[J].Modern Radar, 2013,35(2):1-3. (in Chinese)
- [17] 潘镜芙.国外航空母舰的发展和展望[J].自然杂志,2007,29(6):315~321.
- PAN Jingfu, The development and outlook of foreign carriers[J]. Nature Magazine, 2007, 29(6):315~321. (in Chinese)

作者简介

陈晓飞(1987—),男,硕士。主要研究方向:飞行仿真与效能评估研究。

Tel:15979196814

E-mal: aircraft886@163.com

Review of Precision Approach Radar Guide Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Automatic Landing

CHEN Xiaofei*, DONG Yanfei

College of Aircraft Engineering, Nanchang Hangkong University, Jiangxi 330063, China

Abstract: Automatic safe landing is an important content in the current Unmanned Aerial Vehicle(UAV) research. After the introduction and comparison of several guide UAV landing, their advantages and disadvantages, point out that the precision approach radar to guide the UAV landing a wide range of applications. Then introduced the precision approach radar to guide UAV automatic landing. Finally, give the outlook of UAV landing research.

Key Words: precision approach radar; UAV; automatic landing

Received: 2013-10-08; **Accepted:** 2013-11-08

Foundation item. Aeronautical Science Foundation of China(2011ZA56001); Graduate Innovation Fund of Jiangxi Province (YC2011-S096)

* **Corresponding author.** Tel: 15979196814 E-mail: aircraft886@163.com