

无人机自主空中加油技术探究

Research on UAV Autonomous Air Refueling Technology

蒋红岩 李文川 肖铭 / 南京机电液压工程研究中心

摘要: 作为提高无人机作战效能的有效手段, 无人机自主空中加油技术近年来已成为了无人机研究领域的重要发展方向。本文在总结国外无人机自主空中加油技术发展的基础上, 指出了基于“插头-锥管”的无人机自主空中加油的关键技术和发展方向, 对于研究无人机空中加油技术具有一定的借鉴意义。

关键词: 空中加油; 无人机; 插头-锥管

Keywords: air refueling; UAV; probe-drogue

0 引言

在现代军事活动中, 无人机在重要目标定位、敌方位置记录、摧毁战略目标或非法地面系统等方面发挥着重要的作用。而由于携带燃油量的限制, 严重制约了其航行距离和起飞重量, 以及战略部署。为了克服这些困难, 美国等国家纷纷开始研究无人机自主空中加油技术。以“全球鹰”无人机为例, 据诺格公司称, 空中加油技术可将其续航时间从现在的50小时延长到150小时, 航

程提高3倍, 单架次飞行的作战效能也得到了成倍的提升。另外, 自主式空中加油技术不仅能提高无人机的作战效能, 对于帮助疲劳的飞行员或在恶劣天气飞行的有人驾驶飞机同样具有实用价值。

目前世界上有两种空中加油方式, 即美国空军使用的“伸缩套管式”和美国海军及其他国家(包括中国空军)使用的“插头-锥管式”。伸缩套管式是在加油机中设置一个空中加油操作员,

该操作员控制伸缩管上的加油接头与受油机受油插座对接。在这种加油方式中, 受油机的任务是保持与加油机的相对位置。在插头-锥管式加油方式中, 加油机拖曳一根后部带有锥套的软管, 由受油机飞行员控制受油插头进入锥套, 加油机上不需要有加油操作员。从研究角度来说, 因为伸缩套管式加油方式对受油机要求小, 更容易实现“有人机-无人机”空中加油, 但要发展“无人机-无人机”空中加油, 伸缩套管式的优势并

号总管进行调试试验, 总管重复性检测结果为所有喷嘴的相对流量偏差小于0.5%, 总管流量—压力特性检测结果为压差开方与相对流量线性接近1。

单喷嘴喷雾情况检测, 通过采用平行光源及深色背景可使拍摄到的喷嘴雾化角度清晰可见。

6 结论

经试验证明, 该系统设计原理正确, 方案可行, 结构合理。总管试验器满足发动机燃油总管流量分布校准及单喷嘴喷雾情况检测要求。由于采用了

PLC控制的变频电机控制供油系统, 加上电液伺服阀作为流量微调, 使油路更具柔性, 具备了国内同类设备的先进水平。系统技术指标、运行程序均满足设计目标, 领先于国内同类设备, 而且能够减少试验人力成本、缩短试验时间、节约耗油成本, 今后必将在完成各种发动机的试验中发挥重要作用, 并为发动机型号研制做出贡献。

AST

参考文献

[1] 机械设计手册(第2版). 机械工业出版社, 2000.

[2] 压力容器设计手册. 化学工业出版社, 2006.

[3] 航空发动机设计手册. 航空工业出版社, 2001.

[4] 中国航空材料手册. 中国标准出版社, 2002.

[5] 王绍俊. 机械制造工艺设计手册. 机械工业出版社, 1985.

作者简介: 钟山, 高级工程师, 主要从事试验件、试验设备和非航产品等设计。

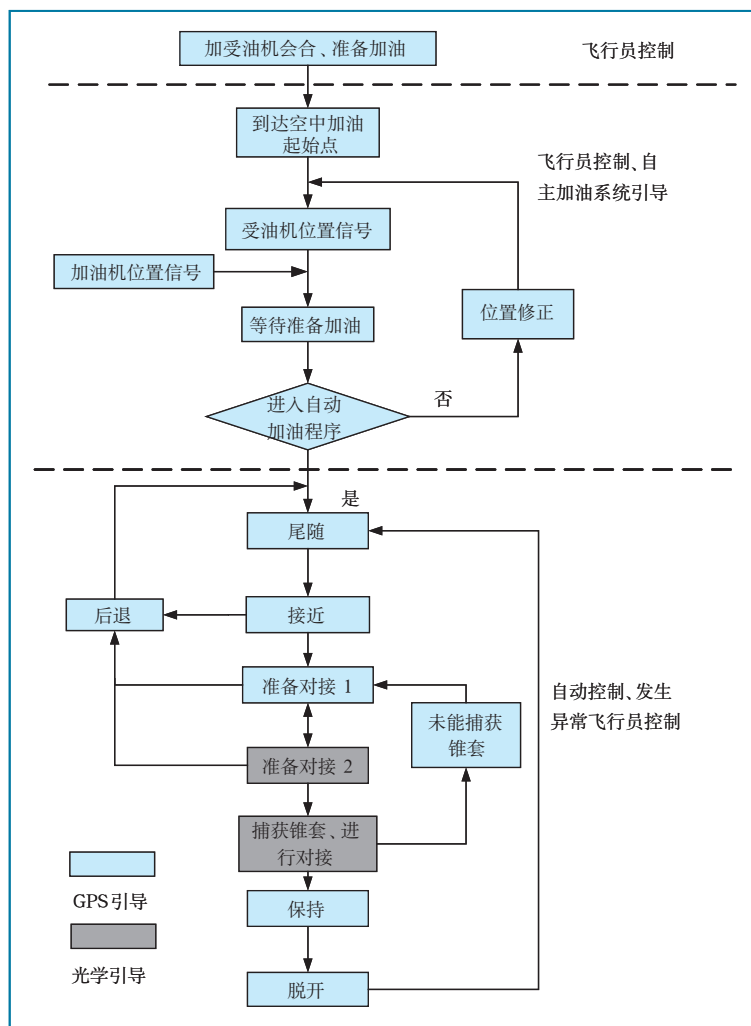


图1 插头-锥管式无人机空中加油试验流程图

例如,2005~2007年间,美国国家航空航天局(NASA)进行的插头-锥管式无人机空中加油试飞,该试验利用一架F/A-18B 研究机充当无人机模拟平台,使用波音707加油机成功进行了数十次各种状态下的软式自主空中加油试飞,成功验证了无人机自主式空中加油技术的可行性。

为了确保试飞成功,NASA进行了大量的地面试验和仿真,包括视频追踪系统性能试验、地面联合试验、控制算法仿真、故障模式仿真等,并在试飞前进行了降低风险的人工试飞。

整个试验过程如图1所示,由飞行员控制研究机进行巡航,在收到指令后进入会合状态,当受油机到达空中加油起始点(ARIP),加油机上的GPS系统就会向受油机传输自己的方位和速度数据信息,受油机自动控制系统解算加/受油机之间的相对位置,并以最佳方式引导飞机进入等待加油位置。一旦收到开始试验命令,飞行员将受油机切换到自主工作状态,受油机上安装的自动空中加油系统开始工作,控制受油机由尾随位置(距离锥套约100英尺)接近到准备对接位置(距离锥套约20英尺),在对接位置处,受油机由单纯的GPS信号引导切换为GPS信号

不明显。

1 国外无人机自主空中加油技术

据报道,美国空军研究实验室为其无人机自主空中加油制定了一个“三步走”战略:第一阶段是“有人驾驶加油机-无人机加油平台”的空中加油试飞;第二阶段是“有人驾驶飞机-变稳定性飞行模拟器”的空中加油试飞;第三阶段是“无人机-无人机”空中加油试飞。目前,美国已有多家研究机构完成了第一阶段的研究。

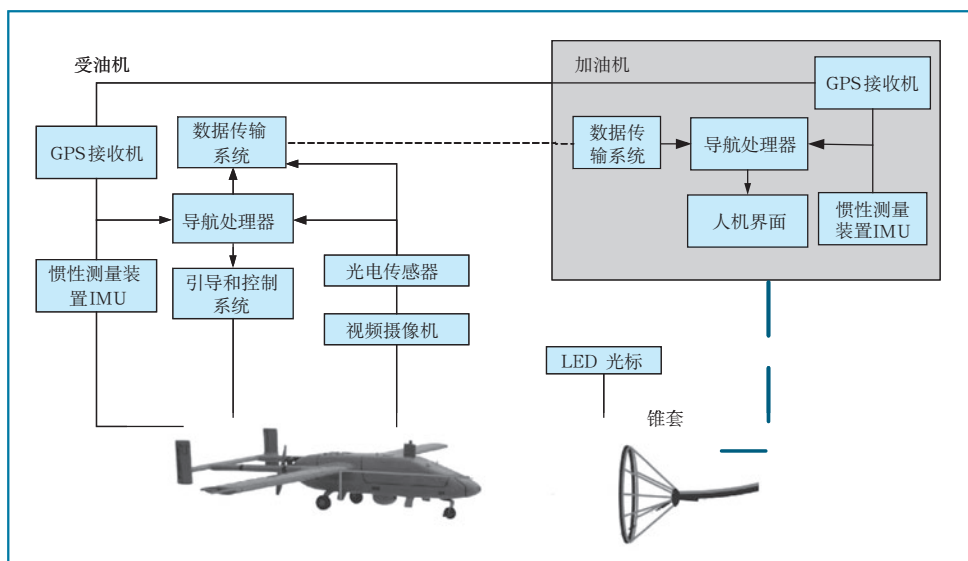


图2 无人机加油结构原理图

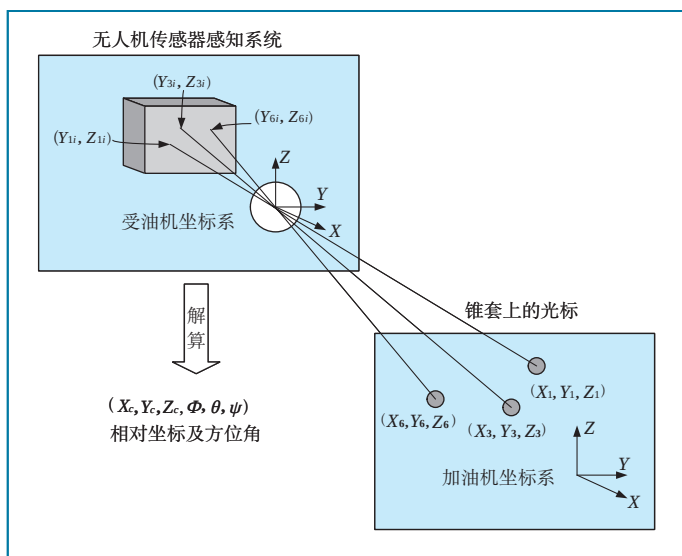


图3 VisNav系统原理图

和视频信号共同引导,以满足对接过程的精度要求,完成和锥套的对接后,又重新转换为GPS引导。在整个试验过程中,一旦系统出现异常情况,飞行员可以随时切断电源并接管飞机的操控权。

现在,美国军方已经将第二阶段的研究合同授予了美国空军研究实验室。实验室将用一架F-16 VISTA变稳飞机模拟无人机与KC-135加油机进行软管插头-锥管加油系统的空中加油试飞,目前正在对F-16 VISTA变稳飞机进行改装,准备利用该飞机模拟美军装备的典型无人机(如“全球鹰”和“捕食者”)的飞行特性,为真正的无人机-无人机油空中加油研究降低风险,铺平道路。

2 插头-锥管式无人机空中加油关键技术

对插头-锥管式无人机空中加油来说,主要是保证无人控制的受油机在不危及加油机安全的条件下接近加油机,并实现无人机在允许的控制精度范围内发现目标(如稳定伞)并对接。为实现该目标,需要对加/受油机进行改造,如图2所示。作为受油机的无人机,其导航处理器接收来自GPS、光电传感器、

视频摄像机、数据传输系统的信号,进行处理后,引导和控制受油机实现接近、对接、加油等过程。在这个系统中,GPS导航、视频制导等技术都已较为成熟,自主式空中加油的技术难点在于缺乏足够精确的传感器和控制器。另外,为提高无人机空中加油的准确率和质量,还必须对数据传输技术和气动性能进行相应研究。

1) 自主引导与控制技术

该项技术包括系统模型的建立:高级的故障检测和故障修复系统,提高任务的鲁棒性;控制器和控制引导算法的研究。整个引导和控制技术研究需围绕自主空中加油四个阶段开展:

a. 尾随接近阶段:在受油机接近加油机的过程中,需要对加/受油机之间的位置进行准确控制,以免发生碰撞。据报道,此时的位置准确度必须要控制在3立方米以内,引导和控制系统控制无人机的自主飞行及防撞。

b. 准备对接阶段:当受油机和加油机进入准备加油位置,在自动追踪装置锁定锥套后,自主控制系统需完成“GPS引导”向“光学引导”的切换。

c. 对接阶段:对接过程中,控制系

统必须将受油插座控制在锥套中心一定范围以内,才能进行对接。

d. 保持脱离阶段:一旦对接完成,自主控制系统将“光学引导”状态切换为“GPS引导”状态,并保持一定的对接时间后,自动控制脱离,进入尾随位置。

2) 高精度位置感知技术

在无人机空中加油对接过程中,单纯的GPS信号不能满足系统的自主对接精度要求。因此,需要针对无人机空中加油的特点,研发高精度位置感知技术。国外曾采用过图像识别软件等方法,但因可靠性不高等原因被放弃,最终F/A-18B研究机采用的是一套名为VisNav的位置感知系统,如图3所示,该系统由半导体位置探测器(PSD)、传感器盒、LED光标等硬件组成。PSD将光信号转换为电流信号,并根据电流的强弱获得光投影坐标,采用三角法测量原理,利用PSD器件捕捉光标发出的光信号并通过电路运算而非接触测量物体距离。在波音707加油机锥套上原本就有为了夜间加油而设置的LED灯泡,直接采用该灯泡作为系统的光标。

这类基于PSD的光电传感器在国内民用领域已十分普遍,但是还需要针对空中加油的要求,对其精度和稳定性开展进一步研究。同时,光标的设置方法,光信号强度、频率等问题仍需进一步探讨。

3) 数据传输技术

在整个空中加油过程中,既要保证飞机与地面控制站之间信息和数据的传递,还要保证加/受油机之间信息和数据的实时收集、传递、处理。为了实现无人机自主空中加油,必须研究基于计算机网络和无线通讯网络的信息网络化技术,研究存在网络延迟和时钟不同步时的信息实时收集与处理方法。还要考虑当两机相连时,如其他飞机飞过上

空,导致GPS信号丢失的情况,与地面站的数据链也要关注,如果遇到紧急情况,必须保证安全地断开连接。

4) 空中加油过程气动稳定性技术

由于软管-锥套的柔性特征,极易受到气流的影响而发生摆动。摆动越大,对受油机的飞行员(有人驾驶状态)或控制与导航设备(无人驾驶状态)的要求越高。因此,提高软管-锥套系统的稳定性不仅是实现无人机空中加油的关键,也能较好地改善软管式空中加油品质。在空中加油过程中,空中加油吊舱的尾部气流对软管有显著的影响,而受油机前端的气流则会产生一个将锥套向外推开的力。国外研究表明,可以通过增加软管长度、提高锥套惯性等方法,提高软管-锥套系统的稳定性。另外,还可以考虑对锥套进行改进,增加锥套张角控制系统,根据外部情况主动控制锥套的张开角度以改变其稳定性。除了气流对软管-锥套系统的影响,加油机对受油机的气动影响也需要考虑。由于软管-锥套系统的复杂性,经典的线性理论在软管弹性力学分析中遇到了诸多问题,尤其是当飞机加油软管在动态载荷的作用下产生松弛时,需要通过制定正确的分析模型和精准的实际风洞及飞行试验数据进行分析。

3 结束语

无人机空中加油技术的发展,不仅能大大提高无人机作战效能,还能提高有人机空中加油对接效率,是未来无人机技术和空中加油技术发展的重要方向。本文中的关键技术都是围绕“有人机-无人机”空中加油提出的。随着无人机空中加油第二阶段和第三阶段研究的展开,更多的新技术将得到应用,尤其是大量智能技术的成熟应用,真正无人操作的“无人机-无人机”空中加油必

将能够实现。

AST

参考文献

[1] Joseph P. Nalepka and Jacob L. Hinchman. Automated Aerial Refueling: Extending the Effectiveness of Unmanned Air Vehicles[C]. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit 15-18, August 2005.

[2] 钱琨. 空中加油: 从有人到无人人的跨越[J]. 国际航空, 2007.12.

[3] Lorenzo Pollini, Giampiero Campa, et al, Virtual Simulation Set-Up for UAVs Aerial Refuelling[C]. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit 11-14, August 2003.

[4] Giampiero Campa, Mario Luca Fravolini, et al. Autonomous aerial refueling for UAVS using a combined GPS-machine version guidance[C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 16-19, August 2004.

[5] 刘小雄, 章卫国. 无人机自主编队飞行控制的技术问题[J]. 电光与控制, 2006.12.

[6] Jennifer Kimmett, John Valasek, and John L. Junkins, Vision Based Controller For Autonomous Aerial Refueling[C]. Proceeding of the 2002 IEEE International Conference on Control Applications. September 2002:1138-1143.

[7] Erfu Yang, Tsutomu Mita. Dual-Controller Approach to Three-Dimensional Autonomous Formation Control[J]. Journal of guidance, control, and dynamics. Vol. 27, No. 3, May-June 2004:336-346.

[8] Kenneth L Johnson, and Kahtan

A. Awni. A roll autopilot for autonomous air refueling[C]. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit 5-8 August 2002.

[9] John Valasek, Kiran Gunnam, et al, Vision-Based Sensor and Navigation System for Autonomous Air Refueling[J]. Journal of Guidance Control and Dynamics, Vol.28, No.5, September-October 2005.

[10] 李科杰. 新型传感器技术手册[M]. 第1版. 北京: 国防工业出版社, 2002: 191-236.

[11] 王健敏, 金玉兰. 非合作式目标识别技术概述[J]. 兵工自动化, 2006.8: 48-57.

[12] Walton R. Williamson, Controllable Drogue for Automated Aerial Refueling[J]. Journal of Aircraft, Vol.47, No.2, March-April 2010.

[13] Zhu, Z. H., and Meguid S. A. Elastodynamic Analysis of Aerial Refueling Hose Using Curved Beam Element[J]. AIAA Journal, Vol. 44, No. 6, June 2006.

[14] 朱战霞, 袁建平. 无人机编队飞行问题初探. 飞行力学, 2003.6:5-7.

Zhu Zhan-xia, Yuan Jian-ping. Discuss on the formation flight of UAV. Fly dynamics, Vol. 21, No.2, June 2003.

[15] Kapseong Ro, James W. Kamman. Modeling and Simulation of Hose-Paradrogue[J]. Aerial Refueling Systems. Journal of guidance, control, and dynamics. Vol. 33, No. 1, January-February 2010:53-63.

作者简介: 蒋红岩, 工程师, 专业方向: 航空燃油系统及附件设计。