

浙江理工大学本科毕业设计（论文）文献综述报告

班 级	机械设计制造及其自动化（3）班	姓 名	谢忠勇
课题名称	无人机半实物模拟训练系统设计与分析		
<div>目 录</div> <div>1、前言</div> <div>2、国内外无人机产业的发展</div> <div>2.1 国际无人机产业的发展</div> <div>2.2 我国无人机产业的发展</div> <div>3、无人机模拟训练系统的发展</div> <div>3.1 无人机模拟训练系统概述</div> <div>3.1.1 无人机模拟训练系统分类</div> <div>3.1.2 无人机模拟操作训练主要研究内容</div> <div>3.1.3 模拟训练系统框架</div> <div>3.1.4 综合训练评估技术</div> <div>3.2 无人机模拟训练系统研究动态与趋势</div> <div>3.2.1 研究动态</div> <div>3.2.2 发展趋势</div> <div>4. 总结</div> <div>参考文献</div>			
指 导教师	<div>签名：</div> <div>年 月 日</div>		
审 批意见			

无人机半实物模拟训练系统设计与分析

(12 机制 3 班 2012330300182)

1. 前言

相比于载人机，无人机体积轻便，机动性高，续航时间长，制造成本低，适应性强，隐蔽性好，因此 20 世纪 80 年代以来，无人机得到了迅猛的发展。不仅能在军事领域发挥重要作用，无人机也广泛运用于航空摄影、物理探矿、灾情监测等多方面民用领域。目前，无人机正朝着廉价、多用途、智能化方向发展，俨然成为本世纪发展的一大亮点^[1]。

然而，无人机的操作过程相对复杂，对无人机操作人员的能力素质要求较高。某一些无人机由于飞行成本较高，组织工作繁琐，需要较大的人力物力的支出，操作员要进行一系列的培训熟悉操作，而要使操作员尽快地掌握操作和维修技能，了解其原理构造，提高训练的效果，操作员一定要反复在无人机飞行器上面进行多次的练习，才能达到训练效果^[2]。因为无人机飞行器的复杂性，导致其价格昂贵，寿命也有一定的限制，不允许因为单纯的训练而过多的使用^[3]。而且一些训练科目对初操作的学员来说会有点困难，且操作过程中危险性较大，又因为学员在操作方面的欠缺，易造成训练事故，导致一些不必要的损失^[4]。为了提高训练效果和装备教学的能力，大大减少训练费用，提高操作员的动手能力，从而研制了无人机飞行器半实物模拟训练系统。

2. 国内外无人机的发展

无人驾驶飞机是一种有动力、可控制、能携带多种任务设备、执行多种任务,并能重复使用的无人驾驶航空器，简称无人机（Unmanned Aerial Vehicle 缩写 UAV）。1917 年英国人研制成功了世界上第一家无人机，从此之后无人机经过无人靶机、预编程序控制无人侦察机、指令遥控无人侦察机和复合控制多用途无人机的发展过程，但知道 20 世纪 80 年代得到广泛的应用，并在几次局部战争中发挥了重要的作用。80 年代后，无人机的研究发展进入了一个新的阶段，相比于载人机，无人机具备以下特点：

- 隐蔽性好，机动性强。无人机造型设计独特，反射面积小，涂料隐身性能好，使得它的暴

露率几乎呈几何级数减小。同时无人机不需要有人驾驶的设备，可有效的减小质量和重量，且由于没有驾驶员，因此在设计时不需要考虑人体极限，完全以任务为中心，目的在于实现大迎角、大机动、高升阻比、高敏捷性、隐身等目标，从而大幅度提高飞机的机动性。

- 续航时间长。新型无人机具有续航时间长的特点，一般可持续飞行几小时。长航时无人机机载设备要求连续工作无故障时间较长，要求各设备具有较高可靠性，同时考虑到设备的能源消耗，机载设备几乎没有余度。
- 成本低，适应性强。无人机的起飞回收不需要复杂的后勤保障设施，减少了外场使用保障费用，它几乎可以在任何地形条件下使用，特别是那些具有零长度发射，车载短轨发射和自动着陆能力的无人机适应性更强。另一方面无人机在采购价格、训练飞行、燃料消耗和维修保障上的费用也低于载人机^[5]。

革命性的装备往往意味着超常规的发展速度，无人机的研发投入和采购需求正在呈爆发性增长，美国无人机年均投入在过去十年的增速甚至达到 44%。

2.1 国际无人机产业发展

据预测，2011 年-2020 年，侦察型和攻击型无人机系统的市场价值中共生产产值为 392 亿美元，其他与无人机系统相关的新兴市场价值 30 亿美元以上。

美国主导着全球的无人机市场，2009 年训练统计显示，新毕业的美军飞行员中，无人战机操作员的数量将首次超过有人战机驾驶员的数量。有 240 名无人机操作员完成在航校的学习（同期毕业的有人战机驾驶员为 214 名）。诚然，与美国空军现役的 3700 名战斗机飞行员和 900 名轰炸机飞行员相比，这个数字有些渺小；不过，在可以预期的未来，二者的差距将随着时间推移缩小。美国已经研制的无人机型号有近 60 中，包括最有代表性的“捕食者”、“全球鹰”等，制造商榜单上，三大巨头——通用原子航空系统公司、诺斯罗普·格鲁门和波音公司——无人机产业发展迅猛。

欧洲各国，包括法国、英国、意大利、瑞典等，作为美国之外的第二大无人机市场，将继续加大无人机研发、生产和投资^[6]。

2.2 我国无人机产业发展

在我国，军用无人机的研制投入和采购需求正持续性增长，民用无人机的发展在应用需求的带动下，从平台系统到任务载荷，从信息获取到信息处理传输，从自由飞行到适航管理，步步深入、层层配套，正在逐步形成工业化的全生产链。西安爱生技术集团公司是从事无人机研究和生产专业基地，自行设计各型无人机，在研制和生产小型航空活塞式发动机方面处于国际领先地位；总参第六十所研制的无人已广泛运用在部队、公安、武警等方面，产生了很大的军事和经济效益；中航航天科工三院海鹰航空通用装备有限责任公司现有“海鹰”无人机产品共计 6 个系列，“腾飞” HW-200 型无人机还为汶川地震、舟曲泥石流等救灾工作提供了实时灾区态势图。

中国无人机行业历经 30 多年发展，产品能力也日趋强大，尤其以深圳大疆、中航智，以及中国航天科工旗下的海鹰无人机等品牌较为知名，各家机构研制的无人机类型和用途也各有不同。大疆专门制造民用小型无人机，海鹰无人机则有轻、小、中型多种系列，具备军用和民用等多种用途。预计到 2018 年，中国民用无人机产品销售市场规模将超过 110 亿元人民币^[7]。

不过，需要指出的是，中国的民用无人机目前以中低端无人机为主，高端无人机较少，高附加值产业还处于萌芽阶段。例如，高空、长航时的无人机市场大、覆盖范围广，可以使国土测绘、电力巡线效率成倍提高，其效费比远高于中低端无人机，但国内这种无人机产品还处于空白。因此，发展中高端无人机，能够对技术创新发挥更好的示范作用。

3. 无人机模拟训练系统的发展

3.1 无人机模拟训练系统概述

作为一种价格高昂的航空设备，极小的隐患和故障都可能会给无人机带来严重的飞行事故，造成巨大的经济损失和恶劣的后果；同时，无人机设备寿命有限，不能作为培训常用设备进行试飞培训。随着计算机技术和虚拟现实技术的迅速发展，无人机模拟训练系统迅速发展，解除了场地、空间和气候等限制因素，缩短无人机系统形成战斗力的时间，降低飞行训练成本和风险，提高无人机系统战场生存率和执行任务的成功率^[8]。

3.1.1 无人机模拟训练系统分类

无人机的模拟训练主要分为两大类：模拟操作训练和模拟维修训练。模拟操作训练主要研究虚拟飞行控制操作和机载任务设备操作的模拟训练；模拟维修训练主要研究虚拟故障诊断的模拟训练^[9]。

1) 模拟操作训练

针对无人机模拟操作训练，其主要任务是进行无人机飞行姿态模拟及机载任务设备的模拟控制等内容。模拟操作训练系统主要研究侧重两方面的内容：一是基于飞行仿真模型的纯软件模拟操作训练系统。这种系统主要采用视景仿真技术来设计飞机姿态的三维仿真模型，利用人机交互技术来驱动模型进行动态运动，该系统可直观可视化地展示无人机的关键工作过程，可视性较好，能够对过程细节进行展现，使用起来也较为方便；二是采用半物理仿真平台的模拟训练系统，在这种系统中大部分实装仿真针对地面控制站进行，这种训练系统的操作真实感有一定提高。

2) 模拟维修训练

针对无人机模拟维修训练，其主要任务是进行故障可视化诊断、装备部件的拆解组装、信号流程可视化展现等内容。关键问题包括故障诊断过程（包括故障现象、故障定位和故障排除）的逼真展现问题和各组件可视化分层精确描述等问题。目前的模拟维修训练系统主要侧重基于多媒体的纯软件训练系统研究，这种系统主要采用实装图片、关键工作过程视频、GIF动画、声响文本资料等形式，分步展现无人机系统的维修过程（步骤）和组成结构，侧重对系统原理、组成结构和维修流程的引导性学习，主要起到多媒体教材的作用^[9]。

3.1.2 无人机模拟操作训练主要研究内容

无人机模拟操作训练技术主要是研究适合于无人机模拟训练并能够用于研制无人机模拟训练器的相关理论和技术手段。其关键技术主要包括：模拟训练系统框架研究、飞行仿真软件体系结构、任务信息生成及控制方法、虚拟故障生成及嵌入方法、综合训练评估技术等^[10]。其组成框图如图1所示。

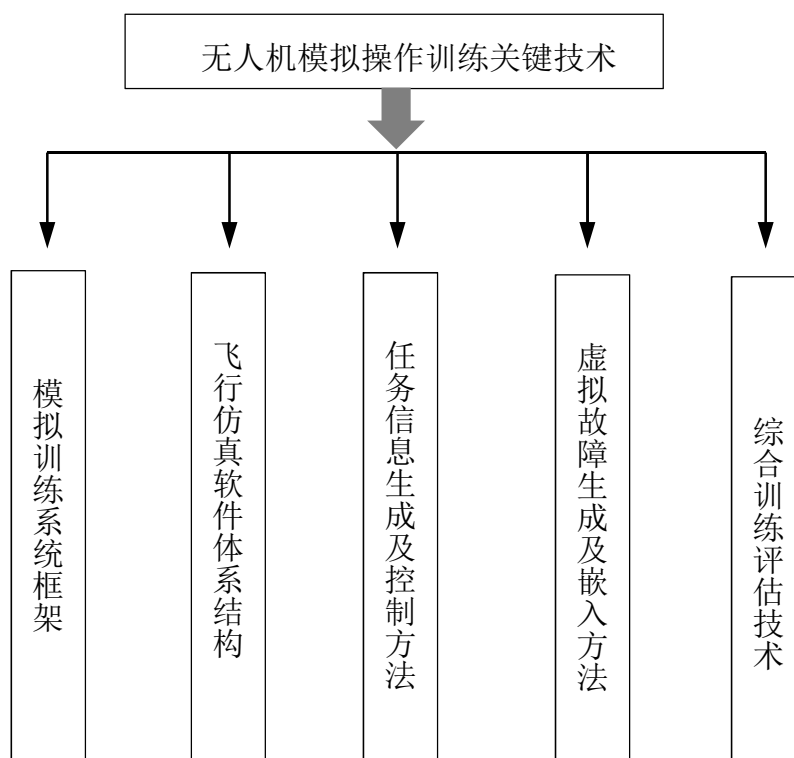


图 1 无人机模拟操作训练关键技术组成

3.1.3 模拟训练系统框架

模拟仿真系统的系统构架，是指各个组成部分的构成、功能、实现方式和连接交互关系。通常，在进行模拟训练系统设计的时候，首先要根据设计需求确定训练系统的结构框架，在确定了系统的结构框架后，就可以建立相关分系统的仿真模型。

无人机仿真系统一般包括：动力学/运动学仿真模块、飞行控制系统仿真模块(等效飞控软件模块)、地面指挥控制模块、通信链路模块、任务设备仿真模块、机载传感器仿真模块、伺服系统仿真模块和视景仿真系统模块等。典型的无人机模拟训练系统原理构架如图 2 所示^[11]。

根据无人机具体特点和系统设计要求，合理确定各个模块仿真模型的粒度，这对于保证模拟训练系统针对需求的逼真度、优化系统的成本和提高训练系统的效能都是至关重要的。

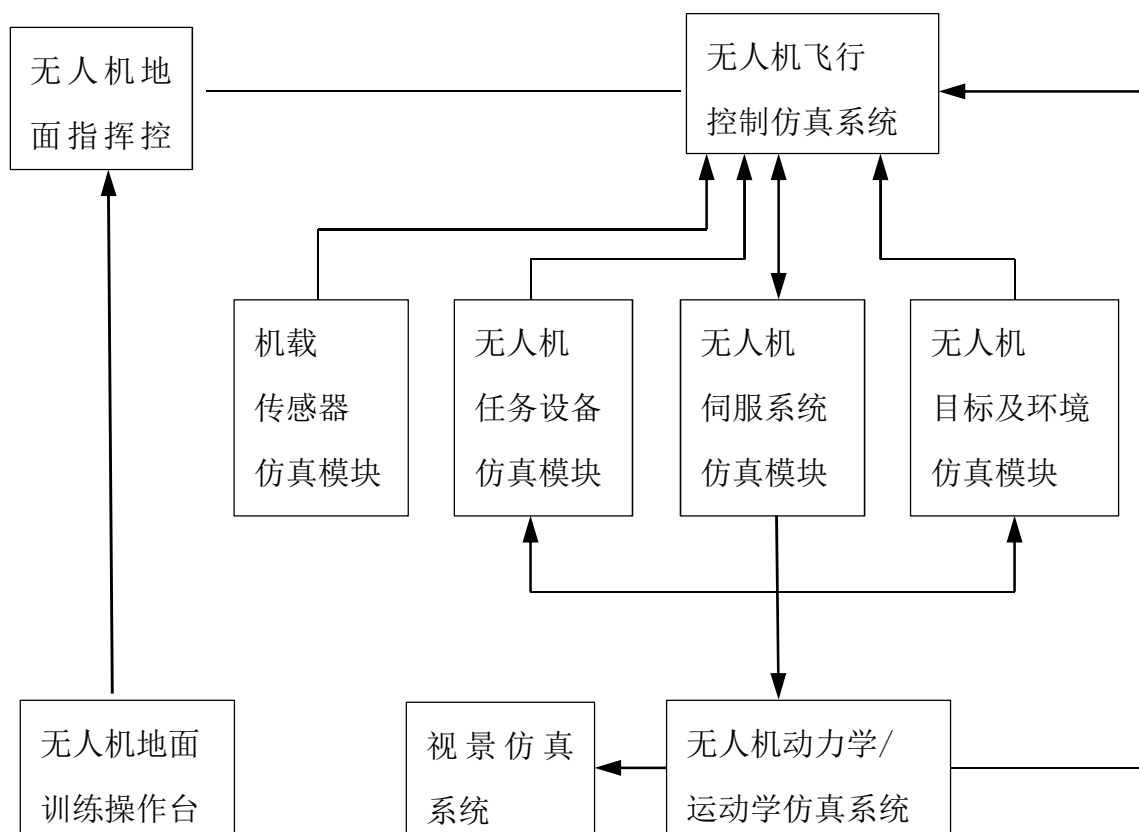


图2 典型无人机模拟训练系统原理架构

3.1.4 综合训练评估技术

系统模型验证和仿真模型校核蕴含于数学建模和仿真建模的过程中，而仿真结果验证更能体现仿真模型的正确性和仿真结果的逼真度。系统模型验证评估是为了检验系统模型的理论假设是否正确，模型的表达是否合理充分；仿真模型校核是确保仿真软件的设计和系统模型的一致性；仿真结果验证是考察仿真结果输出与原系统输出的一致性。

飞行模拟训练系统是由有多个复杂的仿真子系统组成的大型仿真系统。它的各个子系统之间存在着错综复杂的交互关系，对这类复杂的仿真系统进行快速准确的评价具有相当大的难度。可以采用将评估模型层次化、集合化，确定各层、各集合内元素的权重，以此解决评估权重确定的问题。最终给出快速、科学和精确的评估结果^[12]。

由于模拟训练系统的训练过程并非具有唯一性，对实际模拟训练的考核评估不能用某一种或几种标准答案进行简单评定。系统不但需要对受训人员的操作时间、操作技巧等方面因素进

行评估,还需要对整个训练过程的整体训练水平进行综合评估。因此,需要研究并构建适合无人机模拟训练的评估体系,研究模拟操作过程的定性和定量的评估方法,为综合模拟训练过程的科学、定量、快速评估提供方法支撑。

3.2 无人机模拟训练系统研究动态与趋势

3.2.1 国内外研究动态

我国在无人机模拟训练领域的研究起步较晚,近年来部分科研院所及高校对无人机训练仿真技术开展了相关研究,并各有侧重。例如彭等人^[13]利用 MATLAB/XPC 目标搭建了无人机实时仿真系统;周等人^[14]基于 MATLAB/Real- Time Work Shop 搭建了三自由度直升机平台;姚敏等人^[15]结合 PC104 模拟飞控系统,构建了无人机半实物仿真平台;成都前沿动力集团公司研发的通用型飞行器模拟仿真平台可以在各种飞行环境下得到飞行器试飞前的全部信息,随时可以获得想要的数 据,可模拟各种气候条件下滑行、转弯、滑跑、起飞、爬升、平飞、巡航、下降、着陆等训练。

目前,国外对模拟训练技术的研究已进入实用阶段,典型模拟训练系统包括:

1) 非沉浸式模拟训练系统

非沉浸式模拟训练系统不强调完全沉浸,一般将计算机的屏幕作为用户观察虚拟世界的一个窗口,采用各种输入设备如鼠标、追踪球、力矩球等实现与训练环境的交互。虚拟现实诊断训练器(Virtual Reality Diagnostic Trainers, VRDTs)是一个典型的非沉浸式模拟训练系统,该系统由美国北卡罗莱纳州的 Research Triangle Institute 组织和美海军航空兵作战中心训练系统部共同研制。

2) 沉浸式模拟训练系统

典型的沉浸式模拟训练系统有 VEST 系统(虚拟环境下安全维修训练器)和 GOSE 系统(通用操作训练环境)(GOSE 是 VEST 系统的升级版)以上两个系统都用于美国 Heppard 空军基地第 363 训练中队的飞机军械士官学校。通过该系统的训练,训练者可顺利完成现实中的模拟训练任务。

3) 其它类型模拟训练系统

典型的其它类型模拟训练系统是增强型模拟训练系统。其特点是以增强型虚拟现实技术为核心,通过虚拟现实外部设备,将各种辅助信息“附加”到实物上,训练者通过头盔显示器可

看到实物和附加的信息，借此进行训练完成模拟训练任务。目前，此类训练正逐渐受到重视。

近年来国际上的一些科研团队也开展了半实物仿真方面的研究，例如 Dixon 等人^[16]将摄像头等硬件用于半实物仿真，结合数值仿真软件，验证了基于视觉的无人机控制方法；Tarhan 等人^[17]将含有四旋翼无人机本体、惯性导航元件、摄像头等硬件集成在环，搭建了一个半实物仿真平台。

综合分析可知，目前国外正积极地将有人机和导弹领域的相关模拟训练技术应用到无人机领域。比如基于 HLA 体系结构的视景仿真训练系统正在美国猎人无人机上进行试验；基于 Web 服务器的任务控制模拟训练系统正在影子系列无人机上进行试验；基于 3D 仿真模型的虚拟训练系统在以色列哈比反辐射无人机上也在进行环境适用性试验等。初步试验情况表明，这些系统的功能和性能指标基本符合军方的相关要求，并受到军方认可，其工程应用的可行性和实用性也得到了初步验证。由此可见，国外先进无人机国家在模拟训练领域，其技术成熟度等级基本上处于 6 级水平，而且正在快速地向工程化方向迈进。

3.2.2 发展趋势

1) 经费投入不断加大

美国空军在军费预算日以压缩的情况下，为了减少实兵演习的庞大开支，不惜重金采用新一代的先进高级模拟仿真系统，将更多的训练科目转移到模拟器上。20 世纪 80 年代以来，西方国家的空军就已经开始大规模的使用模拟训练器进行飞行模拟训练。从国外的先进经验看，尽管研制开发一台先进的模拟器的费用可能超过单套无人机的购置费用，但其一旦投入使用，模拟训练费用还是远远低于实飞时所需的训练费用。根据资料统计，模拟训练与实飞训练费用之比在 1: 500~1:150 之间。

2) 采用最新的技术手段

在研制飞行模拟器的过程中，采用了最新的计算机技术，传感器与测量技术仿真技术微电子技术等，通过计算机产生一种真实而逼真的环境。飞行模拟器是源于军事需求，所以，随着经费投入的不断加大，飞行模拟器的研制所采用的技术手段也是当今最为先进的。

3) 适应多种类型和功能的训练需要

随着技术的发展，飞行模拟器的性能也不断提高。从过去只能进行单一的平台武器系统的

模拟训练发展为能同时进行多平台、多武器系统由网络互联的模拟对抗。从过去的单兵(机组)模拟训练,发展到一定规模的兵力联合演习的空战模拟训练。

4) 模拟训练器联网以及内部协同成为训练的重点

20 世纪 90 年代末,美国空军利用计算机网络技术,将分散的多个地区的各个部队所属的模拟器联为一体,进行综合、系统和协同训练,有的甚至将空中预警机指挥模拟机与战斗机、雷达模拟系统联网。这样,可以使过去的单兵(机组)训练,发展到具备一定规模兵力的模拟对抗演。

除美国外,英、法等国也采用了多模拟器联合分布式计算机系统和多机空战模拟计算机网络系统两种带有战术背景的对抗训练和战术研究。美、英、法三国曾进行过多模拟器跨洲际联网实验,它为多兵种大规模战役模拟训练和战术研究打下了良好的基础。

5) 建立系统化的模拟训练中心

根据近年来的外军资料,美国空军正在试验一种新型的高级飞行模拟系统。该系统将联通整个空军基地的计算机网络,运行一个空间飞行软件,在一个 36° 的球幕视景显示屏上显示逼真图像以产生一个逼真的训练环境。美空军称,在这种训练环境中的训练为“直观集成显示系统”模拟训练,它可使相距数百英里的训练人员共同使用这个系统直观地参与作战任务^[18]。

4. 总结

无人机的热潮在近几年快速上涨,对地面操控人员进行综合模拟训练是未来发展的一个重要领域。目前,国内外都在大力发展无人机模拟训练系统,但因受到诸多技术瓶颈限制,其发展还远不能满足复杂环境下无人机作战的需求。随着无人机模拟训练系统的深入研究与广泛应用,其必将在未来无人机作战使用中创造巨大的军事效益和经济效益。伴随着计算机软硬件技术和飞行仿真技术的不断发展,研究无人机模拟训练关键技术对提高装备的使用效能具有重要作用,高逼真无人机模拟训练器的研究也将是这一研究领域的热点话题^[19]。

参考文献

- [1] 李海道. 无人机的发展现状和趋势[J]. 航空发动机, 2012 (3): 5-8.
- [2] 李春锦, 文径. 无人机系统的运行管理[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011 (3): 3-7.
- [3] 吴皓, 曲玉琨, 杨彪, 等. 无人机作战实验室建设[J]. 实验室研究与探索, 2009, 28 (3): 135-137.
- [4] 姜志森, 林祥, 姜爱民. 建设科重配置型模拟训练系统提高实践教学水平[J]. 实验室研究与探索, 2012, 31 (12): 171-173.
- [5] 康力. 无人机的现状及技术发展趋势[J]. 北京: 航空 618 研究所, 2002, 8: 14-20.
- [6] 秦博, 王蕾. 无人机发展综述[J]. 飞航导弹, 2002, 8: 4-10.
- [7] 淳于, 江民, 张珩. 无人机的发展现状与展望. 飞航导弹, 2005 (2): 22-25.
- [8] 陶德桂, 刘志强, 钱伟. 无人机飞行训练仿真系统设计与实现[J]. 计算机仿真, 2008, 25 (3): 289-293.
- [9] 苏继杰, 郑幸等. 无人机模拟训练系统的设计与实现[J]. 系统仿真学报, 2009, 21 (5): 1343-1351.
- [10] 杨斐. 无人机实时飞行仿真系统的设计与实现[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2009 (3): 35-37.
- [11] 陈玉静, 卢京潮. 无人机模拟训练系统中的实时飞行仿真[J]. 航天控制, 2007, 25 (3): 71-75.
- [12] 荣辉, 李冬, 殷堂. 基于 Matlab 无人机数学模型仿真分析与研究[J]. 《科学技术与工程》, 2008 (06): 1510-1512.
- [13] PENG L, GENG Q B. Real- time simulation system for UAV based on Matlab/Simulink [C]. 2011 IEEE 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering, Wuhan, China, 2011:399-404.
- [14] ZHOU F, LI DH, XIA P R. Research of fuzzy control for elevation attitude of 3-DOF helicopter [C]. 2009 International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, Hangzhou, China, 2009:367-370.
- [15] 姚敏, 朱艳萍, 赵敏. 敌对环境多无人机协同攻击策略研究[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(8): 1891-1897.
- [16] GANS N R, DIXON W E, LIND R. A hardware in the loop simulation platform for vision- based control of unmanned air vehicles [J] Mechatronics, 2009 (19): 1043-1056.
- [17] TARHAN M, ALTUG E. EKF Based attitude estimation and stabilization of a quadrotor UAV using vanishing points in catadioptric images [J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2011 (62): 587-607.

- [18] Ali Haydar Göktoğan , Salah Sukkarieh. Role of Modelling and Simulation in Complex UAV R&D Projects [J] .Australia: The University of Sydney NSW 2006 (3): 135-137.
- [19] 童忠祥. 飞行仿真技术的发展与展望[J]. 飞行力学, 2002. 20 (3): 5-8.