

智能自主系统

课程编号：03113113

课程中文名称：智能自主系统

课程英文名称：Intelligent Autonomous Systems

开课学期：秋季

学分/学时：3/48

先修课程：线性代数、高等数学/数学分析

建议后续课程：现代飞行控制系统，智能计算方法、人工智能等

适用专业/开课对象：学术型硕士研究生、学术型博士研究生、工程博士、专业硕士

团队负责人：段海滨 执笔人：段海滨、魏晨、邓亦敏、吴江 核准院长：王磊

一、课程的性质、目的和任务

智能自主系统是一门理论联系工程实际的人工智能与先进控制核心课程。无人化、智能化、集群化是现代运动体技术发展的必然趋势。智能自主系统不仅是人工智能的一个重要分支，而且业已成为现代军民融合、一带一路领域的应用热点。本课程的讲授目的是学习和掌握以无人机、无人车、无人船、无人潜航器等为代表的智能自主系统的重要理论知识、关键技术和应用实例，注重培养学生的原创思想、数学思维、创新能力和初步的工程应用能力。通过学习本课程，促使学生理解并掌握人工智能、先进控制与自然科学的基本概念和方法，并具有将其运用到工程基础和自动化专业知识的能力。

二、课程内容、基本要求及学时分配

智能自主系统在信息类专业中是一门重要的核心专业课程。本课程主要讲授智能自主系统的基本概念、定义、基础理论、关键技术以及在一些领域中的典型应用。主要涉及到的内容为：智能自主系统引论、自主控制理论、智能自主感知、智能自主控制与决策、任务规划与通信组网、群体智能集群控制以及典型应用等。

第一章 智能自主系统引论（约 3 课时）

1.1 智能自主系统及分类（1 课时）

1.2 智能与自主的内涵与联系（2 课时）

基本要求：了解典型智能自主系统-无人机/无人车/无人船/无人潜航器的概念、特点及应用现状。理解自主的内涵起源、无人机/无人车/无人船/无人潜航器中的自主内涵、以及自主与自动、

自主与智能、智能与意识的区别与联系。

第二章 智能自主系统控制理论（约 12 课时）

2.1 预备理论（2 课时）

2.2 智能自主系统一致性理论（4 课时）

2.3 智能自主系统集群运动控制理论（4 课时）

2.4 智能自主系统时空配准理论（2 课时）

基本要求：了解智能自主系统控制理论中图论的基本概念及性质。掌握连通图、出/入度、生成树、邻接矩阵、拉普拉斯矩阵等概念，并掌握拉普拉斯矩阵的基本性质。了解智能系统一致性的基本概念及理论。掌握单积分器智能系统在固定拓扑和切换拓扑下的一致性协议及稳定性分析，掌握具有虚拟领航者的单积分器多智能体系统一致性跟踪协议及稳定性分析，掌握双积分器智能系统在固定拓扑和切换拓扑下的一致性协议及稳定性分析。掌握高阶线性智能系统一致性协议设计及分析。在掌握一致性理论的基础上，掌握智能系统编队协同控制理论和方法，使整个系统实现期望的群集几何构形及拓扑连通性保持。掌握智能系统集群运动控制理论，使智能体的速度渐趋同，智能体的间距收敛到期望距离的同时实现碰撞规避。初步了解智能系统信息融合理论，了解智能自主系统时空配准的基本方法和理论。

第三章 智能自主系统感知（约 9 课时）

3.1 智能自主系统感知技术概念（1 课时）

3.2 典型智能自主系统传感器(光学/声呐/激光/超声波等)（2 课时）

3.3 仿生视觉感知与识别方法（3 课时）

3.4 多源跨域智能信息处理技术（3 课时）

基本要求：了解智能自主系统感知技术的基本概念，了解光学、激光、声呐、惯性测量元件等典型无人系统传感器的种类，及在无人车、无人机、无人船、无人潜航器等智能系统平台中的应用。理解并掌握视觉感知及目标识别方法，掌握视觉成像原理，理解图像去噪、边缘增强、灰度拉伸、图像分割、形态学处理等图像预处理方法和图像识别基本方法，了解仿生视觉感知理论和方法。了解多源跨域信息融合方法，理解并掌握基于仿生智能的信息处理方法。

第四章 智能自主系统控制与决策（约 8 课时）

4.1 智能自主系统控制框架和方法（3 课时）

4.2 基本任务和路径规划（3 课时）

4.3 智能自主系统机动对抗和避障决策（2 课时）

基本要求：掌握并理解智能自主系统的自主等级划分的规范和模型框架，了解自主系统运行

的体系结构组成和概念模型；了解智能自主系统设计遵循的系统模型；了解智能自主系统自主运行需要满足的功能框架；介绍当前典型智能自主系统工程架构。理解智能体任务规划和路径规划的基本概念；了解智能自主系统任务规划的基本框架和典型工程方法；了解掌握 A 星、概率图等运动智能体路径规划算法；介绍国外典型智能自主系统的规划系统和指挥控制系统实例。了解智能自主系统辅助决策的概念和基本组成；了解智能自主系统人机权限管理的模型和系统分析方法；了解典型对抗过程中的决策模型及方法；了解智能自主系统特定领域应用新的人工智能算法进行决策的方法实例。

第五章 多自主系统任务规划与通信组网（约 4 课时）

5.1 典型系统协同任务分配和规划（2 课时）

5.2 智能自主系统通信和互操作（2 学时）

基本要求：理解智能自主系统协同任务的基本概念、主要问题，了解多智能自主系统体系结构和拓扑的工程描述方法实例，了解协同任务分配和路径规划的基本方法和工程应用，会分析和设计多运动体协同任务控制系统方案。了解多智能自主系统协同任务和运行面临的通信和互操作问题，掌握通信问题的典型工程实现方案和具体实现方法，了解典型智能自主系统互操作的基本概念和实现方法。

第六章 群体智能集群自主控制（约 9 课时）

6.1 群体智能概念与内涵（3 课时）

6.2 生物群体智能模型（3 课时）

6.3 从群体智能到智能系统集群自主（3 课时）

基本要求：掌握群体智能的概念与特点、以及包括鸽群优化、Boid 模型在内的典型理论模型。掌握描述生物群体运动的典型模型-Vicsek 模型，以及群系统同步性评价指标。理解包括基于随机视线方向、改进拓扑规则以及分数阶微积分在内的三个改进 Vicsek 模型。理解鸽群层级引领、雁群线性编队和狼群协同围捕等典型生物机制模型。

掌握自组织与共识自主性的概念。了解无人机/无人车/无人船/无人潜航器集群系统的内涵起源、研究现状、基本特点、主要优势与反制措施。以无人机为例，深入理解无人机编队控制模型、基于捕食逃逸鸽群优化的无人机紧密编队控制模型，以及包括基于改进人工物理、仿鸽子和雁群飞行的三种无人机避障控制模型。

掌握基于雁群线性编队的编队保持方法以及基于生物自组织的目标跟踪方法。理解基于鸽群层级引领的多运动体编队方法、基于鸽群模式切换的集群避障方法以及基于候鸟互惠往复的编队轮换方法。了解基于狼群行为的任务分配方法、以及基于群体智能的智能自主系统资源分配方法。

第七章 工程实现与研究展望（约 3 课时）

7.1 典型智能自主系统的实现架构与应用实例（2 课时）

7.2 智能自主系统研究展望（1 课时）

基本要求：了解智能系统的典型实现架构，并结合复杂实例，给出典型智能自主系统的具体设计和实现流程，理解和掌握典型智能自主系统的硬件平台基本构成、软件模块架构、以及飞行控制管理系统的层次结构，可根据验证目的设计合适的任务想定与试飞流程。在对当前智能自主系统研究现状分析的基础上，并对未来智能自主系统发展趋势进行展望。了解无人机集群的发展趋势、未来关键技术与发展战略。

三、教学方法

本课程内容理论联系工程实际，教学方法以教师为主导的启发式课堂讲授为主，同时适当增加提问、学生分组并上讲台交流讲授等环节，以活跃课堂气氛，启发创新思维，加深研究生对课程内容的理解和兴趣。

四、课内外教学环节及基本要求

为了强化本课程理论结合实际的特点，引导学生将所学的智能自主系统理论应用于科研工作中，要求学生课程结束时提交智能自主系统应用报告 1 篇；同时，课外指定一定数量的智能自主系统的经典书籍和文献，扩展知识面。利用仿真软件对所学的结果进行编程验证，加深对基础理论知识理解。

五、考核方式及成绩评定

本课程成绩由平时成绩和期末考试组合而成，采用百分计分制。各部分所占比例如下：

平时成绩占 20%，分为课堂出勤考核和课后作业（报告）两部分。

期末成绩占 80%，采用闭卷考试的考核方式。

六、教材和参考资料

教材：

[1] 段海滨，邱华鑫，基于群体智能的无人机集群自主控制，北京：科学出版社，2018。

[2] 陈杰，方浩，辛斌，多智能体系统的协同群集运动控制，科学出版社，2017。

[3] 段海滨，邓亦敏，王晓华，仿鹰眼视觉及应用，北京：科学出版社，2021。

参考资料：

[1] 段海滨等，仿生智能计算，北京：科学出版社，2011。

[2] 沈林成等, 多无人机自主协同控制理论与方法, 北京: 国防工业出版社, 2018, 第 2 版。

[3] 李言俊等, 视觉仿生成像制导技术及应用, 北京: 国防工业出版社, 2006。

[4] Haibin Duan, et al. Bio-inspired Computation in Unmanned Aerial Vehicles, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014.

[5] (美)巴恩哈德等, 无人机系统导论, 北京: 国防工业出版社, 2014。

课程官方网址:

<http://hbduan.buaa.edu.cn/ias.htm>