

参赛队员姓名： 王珞珈

中学： 北京师范大学附属实验中学

省份： 北京市

国家/地区： 中国

指导教师姓名： 段海滨

指导教师单位： 北京航空航天大学

论文题目： 仿郊狼群体智能的无人机群协同

交互决策

论文题目：仿郊狼群体智能的无人机群协同交互决策

作者：王珞珈

论文摘要：在未来战场上，无人机协同作战将成为必不可少的战斗类型，而战斗环境与状态的不确定性导致无人机产业集群协同交互决策成为支撑集群协同作战待攻破的一个重点。郊狼群集行为中的个体可以通过遵循基础的规则、局部的交互从而产生强鲁棒性、自适应力好、扩展程度高等自发行为，在整个系统中也已逐渐显示出集群智能效果，以便应对严酷的环境。郊狼系统具有优越的目标感知能力和团队协作能力，可在复杂条件下高效分工与合作，从而迅速地进行跟踪和围堵目标。它所体现的信息认知能力以及分工协作等智能行为特征，与现代类仿生无人机集群系统协作交互策略的基本特点一致吻合。所以，分析郊狼群的智慧行为机理，分析该系统行为特征，将之合理地运用到无人机集群系统的对抗作战任务中，对如何高效化解仿生类无人机集群系统协作互动的策略这一难点，具有十分重要的意义。

关键词：群集行为，郊狼群体智能，无人机集群，协同交互决策

目录:

论文摘要.....	2
1. 引言.....	4
1.1背景介绍.....	4
1.2生物群集行为.....	4
1.3国内外现状.....	6
1.4郊狼群体的环境学习与认知.....	7
2. 问题描述与郊狼群体智能.....	9
2.1 郊狼群体智能的启发.....	10
2.2郊狼群体智能对无人机群协同交互决策的启发.....	11
2.3 郊狼群体智能机理建模.....	13
2.3.1郊狼群初始化.....	13
2.3.2头狼的产生规则.....	14
2.3.3郊狼游走行为.....	14
2.3.4召唤行为.....	15
2.3.5围攻行为.....	15
2.3.6郊狼群体智能的特点和优势.....	16
3. 关键问题及未来发展趋势.....	16
3.1 仿生无人机的发展趋势.....	17
3.2 郊狼群体智能在仿生无人机群决策中的思考和趋势.....	17
4. 总结.....	18
5. 致谢.....	18
参考文献.....	20

1. 引言

1.1 背景介绍

近几年随着人工智能技术飞速发展, 无人机在军事与民用领域都经历了革命性的突破, 为了弥补单机执行任务能力的局限性, 将无人机以大规模形式聚集、互联互通形成无人机集群, 在功能上承担单机无法实现的复杂任务^[1]。当多架无人机协同执行同一项任务时, 无可避免的需要进行合理的任务分配, 以减少资源的浪费, 提高单次任务的成功率与执行任务的鲁棒性。无人机集群在进行动态任务分配时需要考虑不同的目标类型, 针对性地指派适合类型的无人机执行任务。不仅如此, 随着任务复杂度的不断提升, 无人机集群飞行不再是单一任务序列的简单时序执行过程, 工作条件的不确定性使无人机集群能够有效对工作区域内的突发状况进行应对。其中, 在无人机集群协同交互决策中, 需要着重考虑两种限制因素, 一是来自可能目标的威胁, 这将影响无人机的类型, 编队队形以及载荷类型的实时选择与调整。二是有限的载荷资源能力, 主要影响了无人机集群协同交互决策的效率和执行任务的可持续性。所以, 如何有效的对无人机集群动态任务进行分配是集群智能决策和自主控制中的一个重要技术。

1.2 生物群集行为

在自然界行为系统中, 生物群集行为是普遍存在的, 如下图所显示, 大到成群结对迁徙的角马、集群南迁的候鸟类、成队游行的鱼类等, 小到集体进食的弓背蚂蚁、蜜蜂, 甚至于菌类等微生物, 各种各样规模的生物体均具有着复杂且迥然不同的集群行为。在生物集群中, 尽管单个个体的认知/思维活动水平相对受限, 仍遵循着最基础的行动规律, 但每个个体可以借助相互配合进行迁移、进食、筑巢、防御敌人等复杂的群体行为, 在生物集群层次中产生了有序的自我组织协调行为。在具有多样性的生物集群中, 统一且有秩序的整体活动

方式被建立，并且可以迅速、准确地处理外部威胁，这显示了其具有择优分布式、有自组织性、协作性、且稳定性强的优势，以及其对自然环境变化所展示出良好的适应能力。这类快速灵活的行动方式存在原因存在相应的原理与规律，而这种原理一直是长期以生物群集研究的中心课题。

同样的，将这一生物集群课题类比应用于无人机研究，我们发现，如果没有合理、有效的管理技术和控制策略，大型无人机系统集群将无法充分发挥协同的管理功能，而无人机集群间也就会在时间、空间和打击任务目标等层面上产生矛盾，发生冲突、撞击等风险，从而使得既定目标无法达成。所以，通过学习生物集群行为而构建一个合理有效的大型无人机集群管理技术与控制战略是非常必要的，这对处理复杂、动态、不稳定的战争环境，并最大化的充分发挥无人机集群自身效能有着至关重要的现实意义。这些生物群体行动中所表现的分布式、高自适应性、强鲁棒性等特征，与进行大数量无人机系统集群协作互动行动的条件相符合。探索生物丛集行动的内部相互作用机制，并将之映射到无人机飞行集群协作互动行动中符合一直以来科学研究的特点，这将有助于提升无人机集群在复杂场景情况下的智能判断决策能力与自主规划水平。

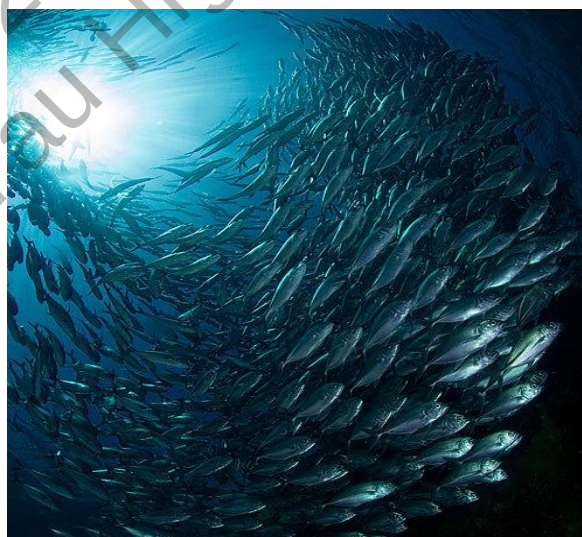


图1 鱼群的群集行为



图2 蚁群的群集行为

1.3 国内外研究现状

无人机集群概念最早是由美国提出，并在国家机构的支持下进行了相关概念的探索研究和技术验证。随后，美国在无人机相关技术研究中投入大量的人力和财力，无人机技术不断进步。随着电子技术、智能控制技术的快速发展，无人机已经从单一的侦查、预警等作用快速发展成为高机动性、高攻击性的战斗装备，尤其是代表着世界无人机技术最高水准的美国舰载无人机 X-47B、高空侦察机“全球鹰”以及无人攻击机“捕食者”^[2]。近年来，国外对无人机技术的研究相继展开，美国的军用无人机一直处于世界的领先地位，技术先进、品类繁多。当下，根据统计调查，美国市面可见的无人机种类高达 75 种^[3]。以色列无人机制造技术处于全球前列，著名无人机“苍鹭”研发于以色列，“苍鹭”不仅可以实现海上巡逻，还可以完成电子侦查和电子干扰等任务。俄罗斯研发重点是攻击型无人机，主要用于完成战略性打击任务。目前，俄罗斯部队装备了高空远程无人机用于实现对目标的精准打击，如近期俄罗斯利用远程遥控无人机对敌方阵营实施毁灭性打击。

无人机集群执行任务的过程是个连续的动态过程，因为前期的任务实施结果往往会关系到后期任务的时间分配和实施状况，所以前期任务实施后的实际情况较为后期任务进行的初始状态，更适合在任

务实施进行过程中的现实要求。在无人机集群动态任务设计问题中,既需要针对计划作出最优化,同时也需要实现无人机集群反映的高速化,两者互为制约。由于无人机集群实施任务的复杂性逐渐增加,仅仅通过提升算法速度就很难适应要求,因此研发在线控制机制,优化问题求解时间和计划最优性间的关系也非常重要。在无人机集群任务计划研发方面,美国佐治亚理工大学通过可扩展的商业开源平台进行了实时路径计划和目标分解,并利用地面站将任务指令发送给集群中的每架无人机。中国科技集团公司电子科学技术研究所等机构目前也已完成了对119台无人机集群的多任务目标分组、集群作战等试验工作。

我国自1970年针对无人机开始了自主探究与研发,相较于其他国家,我国的起步较晚。目前随着我国无人机技术的不断发展,现已有三百多家无人机相关企业,已经形成了较为完备的服务体系,研发并投入使用的无人化飞机多达一百多种,无人机技术逐步得到完善。在民用领域,大疆作为民用无人机领域的旗帜,占据较大的市场份额,为国内无人机行业的发展做出了突出的贡献^[3]。在理论研究方面,以国防科技大学为代表的高校围绕无人机任务分配、协同编队、路径规划等关键技术进行了大量的研究和技术积累。在实物验证方面,2017年2月,国内无人机表演团队利用1100架无人机以夜空为幕,描绘了多个有美好寓意的画面^[4]。总体而言,近年来国内外对多无人机系统的关注度持续飙升,多个国家将多无人机系统的研究作为国防前沿课题给予足够的重视。西方各大军事强国,特别是美国,近年来开展了大量关于多无人机系统的研究工作,其中包括无人化作战概念研究、实验验证等各项关键性的技术。国内对于多无人机系统的研究局多限于理论阶段,缺乏实质性验证。目前来看,国内外多无人机系统的研究差距较大,关键性技术还需要进一步突破。

1.4 郊狼群体的环境学习与认知

郊狼在自然界中隶属于是犬科属,和我们常见的灰狼为近亲关系。由于其拥有十九个亚种之多,所以体形差异很大,通常的重量约在

七负二十一公斤左右, 最大体型则为75-100公分。郊狼原产于北美洲大陆上的许多地方, 北起阿拉斯加、南至巴拿马。欧美探险家最先是在美洲西北部找到了这个哺乳动物的, 一般寿命约为六负十岁。郊狼的英文词“coyote”借自于墨西哥西班牙语, 来源于该地的阿兹台克部落。而郊狼则是在美洲分布得最为广泛的一类犬科哺乳动物, 适应能力极强, 从森林、沼泽地、大草原, 以及草场和园地中都能看到它们的影子^[4]。由于郊狼群体在生物界的天敌很少且其具有较为强大的群体力量, 郊狼并不惧怕人类文明与生活环境, 所以即使在城镇的近郊也不时有郊狼出没。他们多喜群居, 并时常相互追逐比赛猎食。动物是生物群的一种认知意识强且结构严密的动物群体, 擅长在严酷的自然环境中维护自己的生命优势, 这与其很好的生态适应性不无关系。郊狼凭借对环境的掌握与认知增强环境敏感性, 善于抓住对象的细微特点, 借助对微妙环境的发现与联想, 快速了解对象的行为特点。此外, 郊狼还能借助群体的影响力实现对环境认知, 并通过与伙伴之间亲近的情感呼唤, 形成与个体间的信息互动, 从而拓展认知领域。

Hiestand通过环境行为判别和跟踪实验, 对比研究了郊狼的环境感知行为特征。试验步骤中, 选择了不同类型的环境标记以吸引郊狼和牧羊犬, 进而考察其行动特点^[5]。由于标志物总量的增多以及其空间分布的改变, 方位识别复杂度也会逐渐提高。观察研究结果表明, 郊狼在新环境中具有了较高的三维定向力和敏捷性, 因此可以利用反复观察消除错误的方法指引。Lampe等人根据对郊狼驯化的特点, 研究了其在人指导下的认识和与事物区分能力^[6]。其中, 人为指示目标通常包含了一个人所提出的自我选择目标, 用以检验郊狼在交际、行为和因果辨识等认知领域上的能力表现。观察结果表明, 郊狼在因果关系判断中表现优秀, 并由此进一步推测郊狼有较强的事件记忆能力与关联属性。



图3 郊狼

2. 问题描述与郊狼群体智能

在众多生物的群体活动中，郊狼的认知能力、分工合作，以及对复杂环境适应性强等领域都有着明显的优点，特别是在群集行为上表现出了自主学习、紧密配合，及快速反应的特点，除此之外，该种群还具有群体智能的特殊性能。

表1中列出了狼群以及多种其他群居类生物群体在不同属性行为下群居反应的强弱对比以及运动特点。在空战作战情况下，无人机集群所面对的往往是高速动态的拒止环境。和常规飞行环境不一样，无人机在作战环境中通常存在着来自敌对目标的信息干涉和一系列的火力威慑，面对这些难题，无人机集群需要在有限侦察力量下的迅速作出准确的动态反应。这种能力可以类比于郊狼群集，郊狼在集体行动中，可以反映出较强的应变能力与协调能力，使整个团体系统即便在危急环境下也没有发生过失控与坍塌，即使在遇到比自己体形更大、运动能力也更强的猎物时也可以通过灵巧的协调和策略将其制服，面临进食或领土争夺等事件也可以有效组织进行并解决。由此可见，将郊狼群集行为与实际作战环境下的无人机集群机动飞行紧密联系，将郊狼智能运用到无人机集群的协同交互决策和管理过程，对增强无人机集群在各种环境下对目标迅速反应能力有着重要的参考价值。

属性	狼群	鸟群	鱼群	蚁群
认识	强	一般	一般	弱
适应性	强	一般	弱	弱
社会性	严格	层级化	未知	严格
运动特征	选择性拓扑	固定拓扑	固定域	信息素

图4 几种动物群体在几种行为方面的不同特点

2.1 郊狼群体智能的启发

自然界中，恶劣的生活环境以及进化法则使得郊狼狩猎活动形成了一套完整的体系。郊狼主要以群居生活为主，内部存在着较为明确的分工，每个阶层在其生存发展过程中承担着不同的责任。头狼：其担任郊狼群体的头领，它是整个郊狼系统中力量性最为强大的狼，一般情况下，狼群会通过群内斗殴的方式遵循胜者为王这一理念选举头狼的担任着，取胜的头狼在这个集体中有着不可磨灭的声望与地位，郊狼的群体中的其他郊狼必须听从头狼的调遣。作为领导者，要针对探狼所获得的猎物信息做出自主决定与判断，并指挥郊狼集群中的中猛狼去进行猎物围捕，头狼对郊狼群的发展壮大具有举足轻重的影响。探狼：探狼通常是由郊狼群中除了白头狼以外最强大的狼担任，它们的主要职责是寻找猎物^[7,8]。郊狼群在开始捕猎后，往往会派遣郊狼群中较为精英，强壮的郊狼去寻找食物，敏锐的郊狼会根据食物在环境中产生的味道做出决定，从而朝着味道含量最大的目标展开寻找^[9,10]。猛狼：作为郊狼群中的战士，负责查探环境的探狼在觉察到猎物的痕迹时会立刻将猎物的位置告诉头狼^[11]。头狼在接收到信息后作为发号施令者会迅速通过嚎叫的方式通知周围的猛狼朝着猎物的位置奔袭，之后对猎物展开围攻。食物分配原则：郊狼在拿到食物后，会按照“优胜劣汰，适者生存”的原则优先地把食物交给在狩猎过程中

展现力量最强的狼,然后再分享给体格较为弱小力量孱弱的郊狼,最弱小的郊狼很快就会因为没有粮食而饿死,最终被淘汰^[12]。郊狼群体围捕过程可抽象为图2 所示。

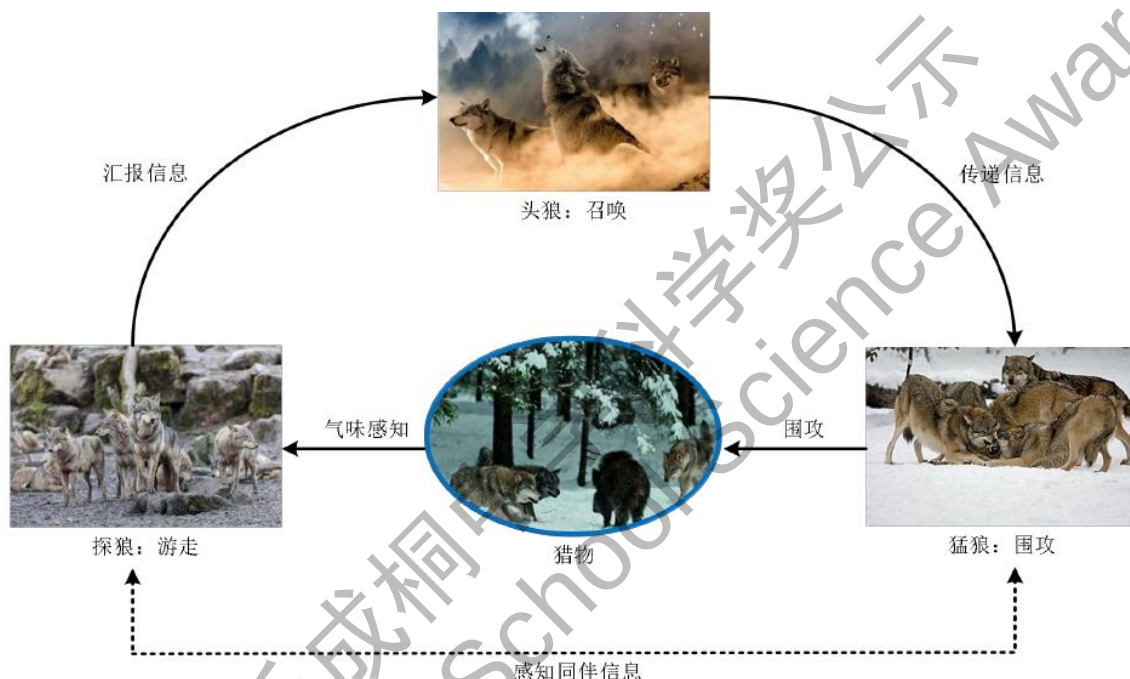


图5 郊狼群体围猎模型

2.2 郊狼群体智能对无人机群协同交互决策的启发

郊狼集群智能和无人机集群的协同交互策略在动作映射机制上都具有极为高度的一致性。首先，二者的行动特点基本相同。郊狼系统在各类危险环境下的群集行动特点是典型的动态演变过程，针对危险目标时必须运用迅速精确的策略手段，有选择性地制定有利于自己的行为策略以达到对相应目标的牵制。相比于郊狼集群应对危险的行动策略，在具有对抗环境下的无人机集群则是在高度动态的拒止条件下，面临竞争目标时需要快速实现分布式决策和管理，并依靠协作与配合实现在组织区域内对总体目标的夹击或跟踪。其次，二者在对环境感知方面的要求也差不多。郊狼在狩猎过程中，首先要掌握围捕环境条件与猎杀目标的典型特点，这需要通过团队协同与任务分配完成对

大环境区域的考察与搜捕。同样的，无人机集群在拒止环境条件下，也需要通过多架无人机通过信息互动与行动融合完成对动态目标的识别追踪、以及对外界环境干扰信号的滤波^[13]。再次，二者的合作机理基本相同。虽然郊狼体系的稳定性与搜捕策略的统一性主要取决于其内部的分层架构，如强者为主，群体为辅等阶级模式，但由于成员间存在着明显的互动关联，在狼王明确了所执行的群体任务并且获得其余成员的一致认可之后，郊狼团体系统就会很快作出合理决定。无人机集群可通过建立本机和邻近友机之间的通信拓扑结构，使得通信的流畅不受制于行动轨迹的改变，从而保持稳态，同时在集群计算机成员间实现决策的一致性协议，并且根据准确的态势认知信号，制定有助于形势发展的机动对策。综上所述可知，郊狼团体所展现出的智能行为机理可作为进一步强化无人机集群作战策略的理论基础。图6显示出映射机制可着重从环境感知和策略机理二方面考察。在信息认知方面，可参考郊狼的认知行为与形态学特点，抽象出一个目标群集的态势信息感知统计模式^[14]。在其中，根据郊狼对狩猎目标动态变化的敏感特性，在计算模式中综合考察了对抗目标移动、其外在特性、环境变化率等各种因素，从而发现目标感兴趣区域。以非监督式机器学习为架构，综合多机对目标信息共享，利用信息技术融合以提高对总体目标的预测能力与位置精确度。从决策机理层面，可以利用郊狼在协同捕猎环境下集群组成的动态关系，根据其社会结构和等级特征，构建了郊狼集群的协同捕猎动态模式，并建立了人员间互动机制。再根据群集动态关系中的个人协同动态模式(如Reynolds三原理)，根据移动飞行、通讯限制、目标激励等条件，分别确定了无人机集群协调运动动力学模式的拓扑规律，建立了多机协调控制律，从而确定了集群运行的协调一致^[15]。为了应付不断发生的外界影响和突发状态，人们可以通过对郊狼的狩猎过程进行阶段性分析，形成任务阶段切换图以实时地处理情况突变，从而提高对集群的迅速反应。

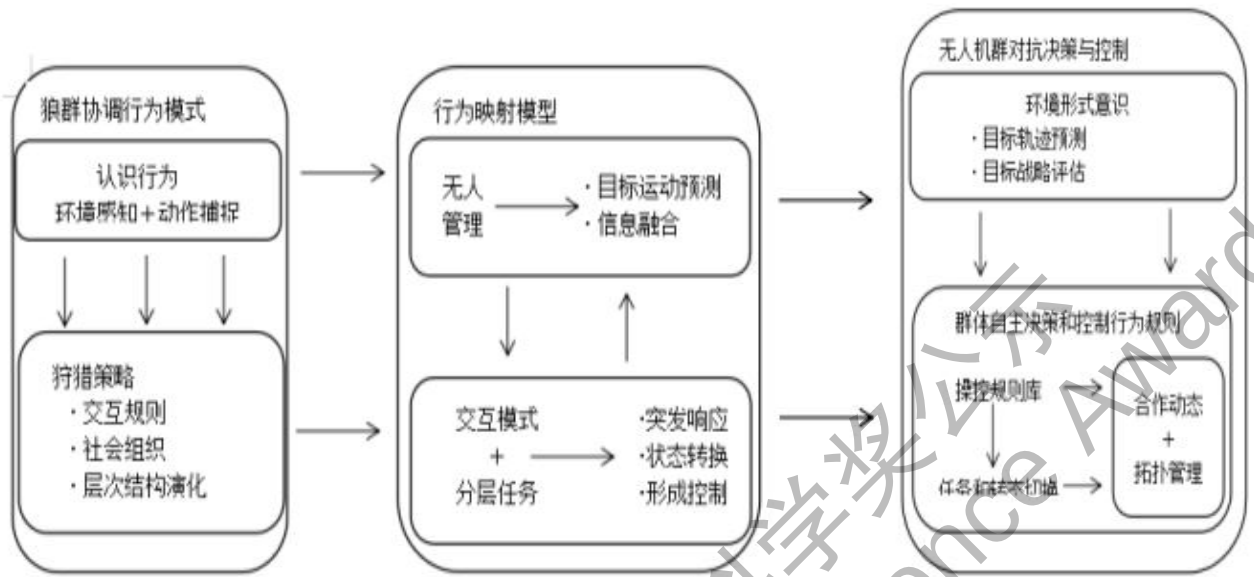


图6 从郊狼群体智能到无人机群协同交互决策的映射机理

2.3 郊狼群体智能机理建模

郊狼群中每匹狼之间的默契配合使得郊狼具有较为卓越的捕猎能力。当郊狼进行狩猎活动时，所围捕到的食物将按照对其贡献的价值高低加以分配，而贡献值较低的郊狼将不能获取粮食或获得的粮食价值较低，甚至不能维持正常生活，这样的粮食分配模式将要求郊狼群中最具攻击力、最强大的郊狼维持实力，使整个郊狼群都能够正常存活繁衍。郊狼智能的建模流程和步骤如下：

2.3.1 郊狼群初始化

人工郊狼在解空间内采用随机值的方式进行位置初始化，假设迭代代数 $k=0$ ， X_i 表示第 i 匹人工郊狼， X_{min} 表示变量取值空间下界， X_{max} 表示变量取值空间上界。

$$X_i = X_{min} + \text{rand} \times (X_{max} - X_{min}), i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

式中, $\text{rand} \in (0,1)$, 表示0到1内随机数。假设在一个D维空间里 (D为待寻优变量空间维数), 那么 X_i 可以表示为: $X_i = (X_{i1}, X_{i2}, X_{i3}, \dots, X_{in})$

2.3.2 头狼的产生规则

首先, 需测量每匹人工郊狼所在位置相对的猎物气味含量, 并选取了猎物味道含量最高的人工郊狼为相应的头狼, 每经过一次迭代, 郊狼群会将迭代后最优的人工郊狼与头狼作比较, 从结果中选择气味浓度相对较大的郊狼作为领导。头狼在进行猎物围捕过程中, 将会继续迭代自己的位置, 无需执行智能行为, 除非在下一迭代中被其他人工狼所取代。

2.3.3 郊狼游走行为

在解空间内, 将除头狼外适应度最佳的nT 匹人工郊狼作为探狼负责猎物的搜索, 其中 T_n 取值为 $[S/(\alpha + 1), S/\alpha]$ 之间的随机整数, S为郊狼中所有人工郊狼的总数, α 为探狼在人工郊狼中所占的比例大小。探狼在进行猎物搜索过程中, 先计算每匹探狼所在位置的猎物气味浓度 Y_i , 若气味浓度 $Y_i > Y_{leader}$, 则可得 $Y_{leader} = Y_i$, 即探狼 i 代替头狼的位置向所有猛狼发起召唤行为; 若 $Y_i < Y_{leader}$, 探狼 i 将会朝着 h 方向以固定步长Sa向前游走一步, 并以此时探狼 i 所在的位置作为起点, 那么探狼 i 在沿着 $p(p=1,2,\dots,h)$ 方向移动后位置将更新为:

$$x_{id}^p = x_{id} + \sin(2\pi \times p/h) \times s_a^d \quad (2)$$

此时, 探狼 i 感知到的猎物的气味浓度为 Y_{ip} , 探狼 i 决策后沿着气味浓度最大且大于当前位置气味浓度 Y_i 的方向前进一步, 同时对其位置 X_i 进行更新。循环执行上述步骤, 直至探狼 i 的感知到的猎物气味浓度 $Y_i > Y_{leader}$, 或者探狼游走次数T达到最大游走次数 T_{max} 。

2.3.4 召唤行为

郊狼中的头狼收到探狼搜索到的猎物信息后，通过嚎叫的方式向周围猛狼发起召唤行为，在算法中，由适应度值排序靠后的人工狼担任猛狼，其数量为 $M_n = S - T_n - 1$ 。猛狼在接收到召唤指令后以较大步长向猎物所在位置进行奔袭。则猛狼 j 在经历 $k+1$ 次迭代后，在 d 维空间中的位置可以表示为下式：

$$x_{jd}^{k+1} = x_{jd}^k + s_b^d \times (g_d^k - x_{jd}^k) / |g_d^k - x_{jd}^k| \quad (3)$$

其中， g_d^k 表示在第 d 维空间内第 k 次迭代后头狼所在的位置。式中 x_{jd}^k 表示猛狼 j 此时所在的空间位置， $s_b^d \times (g_d^k - x_{jd}^k) / |g_d^k - x_{jd}^k|$ 表示猛狼逐渐向头狼靠近。狼群中猛狼奔袭时，如果猛狼 j 所感知到猎物的气味浓度大于头狼所感知到的浓度时，即 $Y_j > Y_{leader}$ ，猛狼 j 将代替头狼位置；反之，猛狼 j 继续执行奔袭行为直到和头狼所在位置之间的空间距离 d_{jm} 小于距离判定因子 d_{near} 时，猛狼开始由奔袭行为转为围攻行为。距离判定因子计算公式，如下式所示。

$$d_{near} = \frac{1}{D \times \omega} \times \sum_{d=1}^D |Max_d - Min_d| \quad (4)$$

其中， ω 为判定猎物与自身距离的算术因子，它的大小决定着狼群系统中算法的收敛速度，在相同的条件下， ω 的取值越大，狼群算法的收敛速度就越快。但若 ω 过大将会影响狼群的围攻行为，导致无法进入围攻状态。 Min_d 表示待寻优的第 d 维空间的最小值，同理， Max_d 该空间的极大值。

2.3.5 围攻行为

在对既定目标进行围攻的行动中，将最靠近目标猎物的头狼位置表示为目标猎物的移动位置，对于第 k 代人工郊狼而言，目标在第 d

维空间中的相对坐标可以表示为 G_d^k ，则在进行第 k 次迭代运算时，狼群执行围攻后的位置可表示为

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + \lambda \times S_c^d \times |G_d^k - x_{id}^k| \quad (5)$$

其中， λ 为 $[-1,1]$ 之间的随机常数， S_c^d 为猛狼对猎物发起围攻行为时的奔袭步长。猛狼 i 在进行围攻中，当所感知到的猎物气味浓度大于猛狼原位置的气味浓度时，则对猛狼 i 进行位置更新。反之，猛狼 i 的位置不发生改变。在 d 维空间内三种智能行为相应的步长之间存在着一定的联系，如下式所示。

$$S_a^d = \frac{S_b^d}{2} = 2 \times S_c^d = \frac{|Min_d - Max_d|}{C} \quad (6)$$

其中， C 表示智能行为的步长因子，该值大小影响着搜索猎物的精细化程度。

2.3.6 郊狼群体智能的特点和优势

郊狼群体智能具有强智能性、高稳定性和收敛速度快等特点，在解决复杂环境下无人机等运动体的多维度复杂协同交互决策等任务规划问题时较大的优势。

特别是在复杂动态任务过程中，任务的不确定性和复杂性一直是一个严峻挑战，不管是无人机、无人车还是无人船的集群任务规划，高智能的多无人机协同交互决策问题一直没有很好解决，郊狼群体智能无疑是一个新的可行的群体智能新技术。

3. 关键问题及未来发展趋势

3.1 仿生无人机的发展趋势

仿生无人机未来的商用机会与前景也相当大。不过要完成其商业化落地与推广，却又并不轻松，这是因为当前该应用存在着二方面的困难。

第一个方面是技术方面。因为仿生无人机研制的协作交互控制要求跨部门合作，必须在驱动、通信、控制技术、飞行模式等领域持续创新与研究，也必须充分考虑现实使用中的噪声等因素，所以在研制工艺上面临较大难度^[16]。随着5G技术的进一步开发，需要克服无人机协作互动决策控制以及移动通信方面的一些困难，未来仍需要进一步加快工艺突破。

第二是成本问题。由于计算机等微电子科技的发达，无人机的主要零件都呈现了小型化、廉价、低能耗的优势，但不管是工艺或者材质，都需要巨大的技术投入，这就使得仿生机器人虽然开发出来的产品价格不菲，但过于高昂的售价也使得一般公司很难实现量产。例如仿生的机械狗spot，其价值几乎等同于一台豪车，但过高的售价也使得其最多作为摆放观赏的小摆件，实际落地商业化之途甚远^[17]。而在此基础上，未来仿生无人机要想从实验室走向市场，就必须改变工艺、材质以及加工手段，使无人机既接近生物学特性，又适应于不同环境使用，同时尽量减少材料消耗、提高工作效能、从而大大降低了成本。另外，我们还需要将思维下沉、注意力聚焦，将重心发力一个垂直的画面上，由小及大、由窄至广的循序逐渐落下。

3.2 郊狼群体智能在仿生无人机群协同交互决策中的思考 and 趋势

(1) 郊狼系统的简并化。郊狼系统是大自然生物界中较为复杂的系统，其展现出各种各样的行为模式^[18]。郊狼智能技术需要在狼群系统的复杂过程中加以提取和抽象，并进行模型仿真与设计应用之间的相互配合，才可以将其进行设计并应用到仿生无人机群协同交互决策

和智能规划。对复杂系统来说，关键数据的提炼与优化往往都可以是事情变得格外简洁。所以，对郊狼系统特征行为模式的抽象化理论研究至关重要，是对郊狼智能的工程化的应用与研究的奠基石。

(2) 对郊狼智能的理论性研究。人们在探究生物智能的问题时不但要强调仿生科技的作用，更需要人们认识其内部规则的可塑性。所谓仿生科学技术的理论化，狼群智慧决策计算的建模化，是人类为了进一步认识狼群智慧活动机制，从而扩大集群计算机等智慧科技应用的过程需要。

(3) 郊狼智能向仿生无人协同交互决策的技术转变。如同人工智能运用于个人计算机群以增强其智能功能那样，将郊狼智能运用于无人机集群也是以增强其任务功能为根本目的。仿生无人的协同与交互决策在动态竞争条件下要求动态认知、迅速行动，以及充分的系统准确性。所以，郊狼智能技术研发方向主要应是面向无人机集群的行为模式研究和工程需求。在此基础上，通过探讨人类生态种群的基本变化规律，并利用科学模型与技术方法设计仿生无人交互决策体系的研究和决策过程系统。

4. 总结

郊狼作为一个感知能力极强且组织紧密的集体行动族群，有着很卓越的感知能力、团队相互协调和环境适应能力，该团体所产生的智能行为机制对无人机群协同互动策略体系中的决策设定有着很大的参考意义。模拟郊狼在合作捕食时的行动机理，有助于对仿生无人机群协同交互决策系统进行优化设计。文中对近年来郊狼行为机理，以及在仿生无人机群协同交互决策体系等方面的有关内容进行了总结讨论与初步模型研究，并对相关核心技术进行了初步分析。

5. 致谢

经过了几个月的艰苦努力，我利用晚上和周末等业余时间，终于完成了我的这篇论文，这次经历对我而言是很宝贵的成长。我首先要感谢我的论文指导老师段海滨教授对我的悉心指导，特别是在我们共同努力克服疫情期间，每次到北航飞行器控制一体化技术国家重点实验室的研究和学习都是一个很大的收获，让我一步步了解了无人机，了解无人机集群决策规划，结合我熟悉和感兴趣的郊狼群体智能进行了分析，他在我学习与研究过程中给予了多次启发性思考并对论文的撰写进行了多次指导性的建议，在这一程中老师及时对我遇到的困难和疑惑给予悉心指点，提出了很多有益的建议和修改意见，投入了超多的心血和精力，让我一直非常感动，这对我来说是一个很好的科研创新训练。对于老师的帮助和关怀我表示诚挚的谢意！

参考文献:

- [1] 蒋长胜. 基于改进狼群算法的多无人机路径规划系统研究[D]. 南京信息工程大学, 2022. DOI:10.27248/d.cnki.gnjqc.2022.000881.
- [2] 卢佳峰, 江驹, 余朝军, 韩冰, 张哲, 刘翔. 基于改进狼群优化算法的无人机集群协同对地打击方法[P]. 江苏省: CN114442662A, 2022-05-06.
- [3] 段海滨, 彭雅兰, 魏晨, 邓亦敏, 吴江. 一种基于郊狼信息熵的无人机集群任务动态分配方法[P]. 北京市: CN114185362A, 2022-03-15.
- [4] 周同乐, 陈谋, 韩增亮. 基于多策略狼群算法的多无人机协同多目标任务分配[C]//. 2021年第五届全国集群智能与协同控制大会论文集., 2022:193-199. DOI:10.26914/c.cnkihy.2022.008250.
- [5] 段海滨, 何杭轩, 赵彦杰, 王寅, 牛轶峰, 袁莞迈, 邓亦敏, 范彦铭, 魏晨, 罗德林. 2021年无人机热点回眸[J]. 科技导报, 2022, 40(01):215-227.
- [6] 陈杰, 薛雅丽, 叶金泽. 基于改进狼群算法的多机协同目标分配研究[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2022, 40(01):20-29. DOI:10.19292/j.cnki.jdxxp.2022.01.005.
- [7] 陈谋, 吴诗平, 邵书义, 周同乐, 朱荣刚, 聂志强, 贺建良. 基于改进狼群算法的无人机群资源调度方法[P]. 江苏省: CN113836803A, 2021-12-24.
- [8] 叶辛宁, 雷仲魁. 基于改进狼群算法的无人机任务分配方法[P]. 江苏省: CN113741508A, 2021-12-03.
- [9] 彭雅兰, 段海滨, 张岱峰, 魏晨. 仿灰狼合作捕食行为的无人机集群动态任务分配[J]. 控制理论与应用, 2021, 38(11):1855-1862.
- [10] 赵林, 张宇飞, 姚明昨, 郭彦涛. 无人机集群协同技术发展与展望[J]. 无线电工程, 2021, 51(08):823-828.
- [11] 灰狼与郊狼混合优化算法及其聚类优化 [J]. 张新明;姜云;刘尚旺;刘国奇;窦智;刘艳;. 自动化学报
- [12] 段海滨, 张岱峰, 魏晨, 邓亦敏, 吴江. 一种仿狼群狩猎行为的无人作战飞机集群合围控制方法[P]. 北京市: CN112925345A, 2021-06-08.
- [13] 段海滨, 张岱峰, 邓亦敏, 魏晨, 吴江, 周锐. 仿狼群合作狩猎机制的无人机集群动态任务分配方法[P]. 北京市: CN111722643B, 2021-04-30.
- [14] 基于变异反向学习郊狼优化算法的光伏智能边缘终端优化配置方法 [J]. 姜小涛;方磊;牛睿;张玮亚;刘嘉恒;葛磊蛟;. 电力建设 2021(03)

[15]Chen Yueyi; Wu Husheng; Xiao Renbin Improved Wolf Pack Algorithm for UAV Path Planning Problem.

DOI: 10.4018/IJSIR.302605

[16] Lu Yingtong; Ma Yaoifei; Wang Jiangyun

Multi-Population Parallel Wolf Pack Algorithm for Task Assignment of UAV Swarm DOI: 10.3390/APP112411996

[17] An ounce of prevention: Quantifying the effects of non-lethal tools on wolf behavior Rebecca M. Much, Stewart W. Breck, Nathan J. Lance, Peggy Callahan

[18] Assessment of attachment behaviour to human caregivers in wolf pups (*Canis lupus lupus*) Nathaniel J. Hall, Kathryn Lordb, Anne-Marie K. Arnold, Clive D.L. Wynne, Monique A.R. Udel

1.论文的选题来源、研究背景；

近几年随着人工智能技术飞速发展,无人机在军事与民用领域都经历了革命性的发展,为了弥补单机执行任务能力的局限性,将无人机以大规模形式聚集、互联互通形成无人机集群,在功能上承担单机无法实现的复杂任务。当多架无人机协同执行同一项任务时,无可避免的需要进行合理的任务分配,以减少资源的浪费,提高单次任务的成功率与执行任务的鲁棒性。无人机集群在进行动态任务分配时需要考虑不同的目标类型,针对性地指派适合类型的无人机执行任务。不仅如此,随着任务复杂度的不断提升,无人机集群飞行不再是单一任务序列的简单时序执行过程,任务环境的不确定性要求无人机集群可以及时对执行范围内的突发情况做出响应。目标威胁与有限载荷资源是无人机群协同交互决策需要着重考虑的两种约束。目标威胁主要影响无人机类型、编队队形与载荷类型等的实时选择与调整,有限载荷资源约束了无人机群协同交互决策的任务效能与执行任务的可持续性。因此,无人机集群的动态任务分配是集群智能决策与自主控制中的一项关键性技术。

2.每一个队员在论文撰写中承担的工作以及贡献：

王珞珈查阅论文并研究郊狼特性，在老师的帮助下撰写论文并修改。

3.指导老师与学生的关系，在论文写作过程中所起的作用，及指导是否有偿：

指导老师与学生为师生关系，帮助学生撰写并修改论文，指导无偿

4.他人协助完成的研究成果。

指导老师简历：



段海滨，北京航空航天大学长聘教授、博士生导师，国家重点实验室副主任，长江学者特聘教授，国家杰出青年科学基金获得者，“万人计划”-科技创新领军人才、中组部首批青年拔尖人才。主要从事无人机集群仿生自主飞行控制及应用研究。担任中国科协全国首席科学传播专家，中国科协十届常委会青年科技工作者专门委员会委员，第十二届、第十三届全国青联常委兼科学技术界别副主任委员。北京市中学生英才计划指导教师、北京市中学生拔尖人才计划指导教师。

主持国家自然科学基金重大研究计划重点项目、国家自然科学基金企业创新联合基金重点项目、国家自然科学基金重点项目、国家杰出青年科学基金、军委科技委创新特区项目、装备预研等课题。发表SCI论文80余篇，专著4部，发明专利41项，2020和2021年爱思唯尔中国高被引学者，获中国航空学会科学技术一等奖、吴文俊人工智能科技创新一等奖、CAA技术发明一等奖、国防技术发明二等奖、国防科技进步二等奖(均排名1)，高等教育国家级教学成果二等奖(排名2)。获中国青年科技奖、全国优秀科技工作者、中国青年五四奖章、茅以升北京青年科技奖、中国自动化学会首届青年科学家奖、杨家壩科技奖、冯如航空科技精英奖。《Guidance, Navigation and Control》创刊主编、《IEEE Trans Cybernetics》、《IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs》编委，IFAC TC 7.5委员、中国自动化学会无人飞行器自主控制专业委员会主任、中国航空学会制导导航与控制分会主任。

仅用于2022丘成桐中学科学奖公示
2022 S.-T. Yau High School Science Awards