**上海交通大学大学生创新实践计划项目申请表**

* 1. 基本情况

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目  名称 | | 多智能体分布式动态编队控制算法研究 | | | | | | | | | | |
| 英文  名称 | | Research on multi-agent distributed dynamic formation control algorithm | | | | | | | | | | |
| 所属  学科 | | 学科一级门： | | | （根据教育部学科分类填写） | | | | 学科二级类： | | | （根据教育部学科分类填写） |
| 相关  学科 | | 学科一级门： | | | （学科交叉选填） | | | | 学科二级类： | | | （学科交叉选填） |
| 项目  来源 | | 学生自选/学科竞赛/导师科研/企业课题 | | | | | | | | | | |
| 申请  金额 | | 5000-15000元 | | | | 执行期限 | | 1年-3年（精确到0.5年） | | | | |
| 导师  配套 | | 元 | | | | 企业赞助 | | 元 | | | 申请学分 | 3-4分 |
| 负责人  姓名 | | 姚嘉豪 | 性别 | | | 男 | 民族 | 汉 | | | 出生年月 | 2002年12月 |
| 学号 | | 521021911060 | 所属  院系 | | | 电子信息与电气工程学院 | | | | | 专业 | 计算机科学与技术 |
| 联系  方式 | | 邮箱：2558770152@sjtu.edu.cn 手机:18838868188 | | | | | | | | | | |
| 负责人曾经参与科研的情况 | | | | 暂无 | | | | | | | | |
| 指导  教师 | |  | 联系  方式 | | | 邮箱： 手机: | | | | | | |
| 导师  工号 | |  | 所在  学院 | | |  | | | | | | |
| 指导教师承担科研课题情况 | | | |  | | | | | | | | |
| 指导教师对本项目的支持情况 | | | |  | | | | | | | | |
| 项  目  组  主  要  成  员 | 姓 名 | | 学号 | | | 手机 | | | | 邮箱 | | 项目中的分工 |
| 姚嘉豪 | | 521021911060 | | | 18838868188 | | | | sjtu.1518228705@sjtu.edu.cn | | 算法设计、组织 |
| 刘俊杰 | | 521021911059 | | | 19862352398 | | | | 2558770152@sjtu.edu.cn | | 实验分析 |
| 褚蔚 | | 521021910998 | | | 18792193725 | | | | asdfghjkl@sjtu.edu.cn | | 实验分析 |
| 罗明义 | | 521021911006 | | | 18048503896 | | | | lmy\_romiqi@sjtu.edu.cn | | 理论算法设计 |
|  | 赵晨羽 | | 521021910063 | | | 13983770817 | | | | pxwzq6@sjtu.edu.cn | | 理论算法设计 |

* 1. 立项依据（可加页）

|  |
| --- |
| **（一） 项目简介（200字以内）**  近年来，多智能体系统的分布式编队控制问题已成为国内外各研究者的关注点，这是由于其在社会、工业和国防等领域有着广泛的应用前景。所谓编队控制问题，就是指多个智能体在到达目的地的过程中，保持某种特定队形，同时适应环境约束的控制技术。  多智能体系统的分布式编队控制问题主要包含几个方面：编队控制，即如何控制一个编队的集体运动；队形变换，即如何切换编队的队形；抗干扰性：即如何增强编队控制的鲁棒性，实现稳定控制。    **（二） 研究目的**           通过对多智能体编队控制算法的研究与实现，实现对复数智能体的编队控制，并表现出良好的抗干扰性能，使得控制更稳定。进而使得对诸如无人机群，机器人群等实际中的复数智能体的集体性控制成为可能，为实际多智能体的编队控制建立基础。    **（三） 研究内容**  1.多智能体编队分布式控制算法：结合最优控制理论和图论基本知识，分析网络拓扑结构与目标编队特征，利用一致性算法实现自组织编队形成。  2.提升集群控制算法对复杂环境的适应性：在编队切换的过程中能自适应应对外界干扰，具备较强的鲁棒性。  3.基于Gazebo环境搭建仿真平台，验证集群算法的可靠性和实用性。在此基础上搭建硬件平台，进一步验证算法的可行性。        **（四） 国、内外研究现状和发展动态**  多智能体系统分布式编队控制的研究方兴未艾，国内外研究者在这个领域里也做出了具大的贡献，并取得了显著的成果。  多智能体编队控制分为集中式控制和分布式控制两种方法。分布式编队控制则克服了集中式编队控制计算复杂，鲁棒性差等缺点，它只需要知道邻居节点的信息而不必知道系统的全局信息。分布式编队控制有运用局部势函数和控制协议两种方法。  图4.1鲁棒性的提高-两种避障结构  其中势函数方法已被广泛应用于移动机器人的路径规划，采用了势能函数进行控制律设计，提出一种针对障碍物的编队控制方法。势函数的计算简单，但是它最主要的缺点就是，运用势函数时，系统往往存在多个平衡点，所以，很难保证系统从任何初始点最终都能形成所要求的队形。由此可见，设计分布式编队协议对系统的编队控制显得尤为重要。    图4.2领航者法拓扑图   1. Rodrigues等人基于图论的理论，研究了leader-following拓扑结构的一阶连续和离散的多智能体系统分布式编队问题，设计协议使系统能够从任何初始状态形成并保持一定的编队。     图4.3 一维和二维无向图的拓扑结构  Olfati-Saber等人提出了有时延和无时延的两种一致性协议，建立了系统网络拓扑结构的代数连通性与线性一致性协议性能之间的关系。在有向网络条件下分析了固定拓扑结构和切换拓扑结构两种情况下的多智能体系统的一致性问题，同时还研究了有通信时滞的无向网络，并对上述三种情况下的一致性协议进行收敛性分析。Ren 等人以一阶多智能体系统为研究对象，考虑了变化拓扑结构下的系统一致性问题，给出达到一致性所需的充分条件，即在一定时间段内，系统的网络拓扑结构包含有向生成树。  与设计一致性协议来解决多智能体系统一致性问题不同，Tanner利用势函数的方法，研究了一阶固定拓扑和变化拓扑的多智能体系统一致性问题。  Moreau设计了当智能体接收信息的时延与通信时延不相等这种时滞不对称情况下的一致性协议，给出了智能体状态信息最终收敛为一个常值时所需的充要条件。  Olfati-Saber和Murray考虑了在固定和切换拓扑结构下，含有相同通信时延的一阶多智能体网络的一致性问题，提出如果网络拓扑结构是强连通的，那么多智能体的状态最终都能够达到一致。  Kingston 和Beard研究了在固定和切换拓扑下，离散时间系统的一致性问题。  编队控制作为一个重要的研究领域，不仅在理论层面取得了重大成就，在实际工程中也得到了广泛的应用。国内外许多专家学者以及研究机构对自主水下机器 人（AUV）、自 主 水 面 机 器 人（ASV）、无 人机（UAV）和无人车（AGV）等编队控制领域展开了丰富的研究。  图4.4无人机虚拟编队结构-  2020年，高振宇等研究了不确定因素和海洋扰动作用下多自主水面机器的编队控制问题，但其对干扰因素的研究仅考虑了外部环境因素。  2018年，王智鹏等针对卫星编队通信带宽受限的问题，设计了基于事件驱动的卫星编队相对姿态分布式自适应控制算法，与传统的自适应控制算法相比，有效减少了控制输入更新频次，降低了信息交互量。  中国电子科技集团在2016和2017年分别实现的67、119架固定翼无人机的集群编队飞行，无人机集群完成了密集弹射编队起飞、自主集群控制、协同探测、感知与规避、战场态势感知、饱和打击等作战任务。  上海洋山港四期自动化码头在国内率先建成一个全自动化AGV换电站，解决了AGV长时间续航的问题，保证了AGV能够24 h全天候运作。  2015年4月 美 国 海 军 研 究 实 验室（united states naval research laborator,NRL）“低成本无人机蜂群技术（low-cost UAV swarming technology, LOCUST)”项目，在多种平台上完成了９架郊狼无人机完全自主同步和编队飞行的技术验证。    **（五） 创新点与项目特色**  1.采用分布式的编队控制系统，有效的解决集中式控制系统编队控制计算复杂、鲁棒性较差  的缺点，可以组建成规模更大、拓扑结构更加复杂的多智能体编队。  2.借助复杂网络的理论，通过借鉴成熟的图论理论来研究编队信息流、编队构型、控制律设计等等。  3.尝试将启发式的方法与信息一致性的方法进行结合。启发式的方法适用于大规模的群体运  动，但是在局部协同方面并没有精准的控制；信息一致性方法通常假定智能体仅仅与其相邻的个体进行信息交互，因此基于信息一致性方法的优点在于能够适用于大尺度的编队控制，其不足之处为了得到精准的状态控制，难以在有限时间内实现算法的收敛。将二者结合可以有效地发挥各自的优势，从而实现更大规模、更复杂拓扑结构的多智能体编队控制。      **（六）技术路线、拟解决的问题及预期成果**  **1.技术路线和拟解决的问题：**  路径规划：首先，根据节点与障碍物的距离，并结合移动单元的安全半径，建立安全代价函数。然后，根据安全代价函数，建立合适的启发函数（使用曼哈顿距离或对角距离进行计算），并基于启发函数通过A\*算法进行路径规划，从而获得多指标权衡的最佳路径。  队形切换：根据基于微粒群模型的多机器人编队算法，利用分布式计算的方式控制多机器人编队，通过构造包含所有机器人位置信息的队形适应值函数，将函数取最优解时的变量作为目标队形，实现四种目标队形(线形、三角形、圆形和六边形)的队形变换。  编队控制：首先依据多智能体编队构建相应的无向图（相邻节点可相互通信），并建立对应的邻接矩阵和参数矩阵，用来描述相邻节点的关系和位置信息等。在此基础上，根据图论的基本理论，结合编队层数最少原则的鲁棒控制策略，设计鲁棒自适应控制器，保证编队在一定时间内达到稳定。  抗干扰：在基于图论的分布式控制系统结构下,建立移动机器人的运动-动力学模型,根据相对误差模型设计直接自适应模糊控制器,对相邻节点位置的机器人的理想相对位姿进行逼近,通过模糊逻辑推理得到输出反馈量并实时调整相对状态量，利用Lyapunov理论保证跟踪误差的收敛性和控制系统的稳定性。  ROS2:在成功完成仿真平台验证算法的可靠性与可行性的基础上，将借助ROS2硬件平台进一步验证算法的实用性，并且达到更加直观的展示效果。  **2.预期成果：**  提出一种高效可靠的多智能体编队控制算法，能够实现精准编队组成和快速编队变换，通过搭建仿真平台和实际的硬件平台，多方面验证算法的可靠性与实用性。       1. **项目研究进度安排**   2022年10月- 11月：学习有关集群控制、编队控制的传统算法，学习ROS2系统。  2022年12月：通过ROS2系统搭建集群控制仿真平台。  2023年1月-2月：部署集群控制算法，在仿真环境中实现经典编队控制。  2023年3月：第一阶段实验总结，准备中期答辩。  2023年4月-5月：搭建硬件平台，解决3车在ros2框架下的通信问题。同时提出创新的编队控制算法，在仿真平台上进行实现。  2023年6月：对现有问题进行改进，对各方面方案进行优化。。  2023年7月-8月：在多车框架下进行实验，撰写论文，准备专利。  2023年9月-10月：对项目进行总结，撰写结项论文及报告，准备结项答辩内容。     1. **已有基础**    1. **与本项目有关的研究积累和已取得的成绩** 2. 使用Matlab实现了基于骨干网络的多智能体协同协同控制避障算法，在多智能体协同运动方面有一定的基础。 3. 用XXX方法实现了XXX 4. 导师所在实验室已有基于Jetson Nano主板的智能小车，配置有ubuntu 18.04系统、melodic版本的ROS平台，对ROS有一定的研究基础。    1. **已具备的条件，尚缺少的条件及解决方法**   已具有条件：   1. 硬件条件   实验室已有基于Jetson Nano主板的智能小车平台，可以通过Wifi通信实现PC端与小车端的连接；同时小车平台上配置有RGBD彩色深度相机，为后续获取深度信息数据集提供条件。同时实验室服务器GPU配置为GTX1080Ti AERO 11G（4块），在项目过程中需要训练深度神经网络时可以大大提高训练效率。   1. 软件条件   实验室在多智能体集群控制领域有一定研究，有基于Matlab的集群控制框架，在计算机视觉、目标检测、目标跟踪等领域也具有丰富的技术积累和科研产出，同时在滤波理论、信息融合等方向也具有坚实的技术壁垒。 |

* 1. 经费预算

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 开支科目 | 预算经费  （元） | 主要用途 |
|
| 预算经费总额 | **15000** | **（与申请金额相等）** |
| 1. 办公费 | **1500** | **资料费，打印纸等办公用品** |
| 2. 印刷费 | **1000** | **复印费** |
| 3. 邮电费 |  |  |
| 4 市内交通费（不超过5%） | **500** | **市内交通调研** |
| 5. 差旅费 |  |  |
| 6. 会议费 | **1000** | **国际会议注册费，论文发表版面费** |
| 7. 培训费 |  |  |
| 8. 材料费 | **8000** | **购置智能车及辅助设备** |
| 9. 实验测试费 | **2000** | **实验场地租用** |
| 10. 图书资料费 | **1000** | **购买相关算法书籍** |
| 11. 其他费用 |  |  |

* 1. 指导教师意见

|  |
| --- |
| （需填写指导老师意见，无需签章。）  该项目前期进行了较充分的调研，结合学科发展和技术前沿，以及可能的应用场景，提出了该项研究。项目研究思路明晰，技术路线可行，经过努力，不仅能实现项目的研究目标，也会有创新性的研究成果，将激发各位同学的科研热情和学术志趣。 |