

协同攻击通信拓扑动态重构的抗干扰容错控制

张 珊¹ 唐美杰¹ 白文李¹ 贾冠丽¹ 景宏宇¹ 刘克迁²

1. 中国航天科工集团第二研究院, 北京 100071

2. 中国航天科工集团第四研究院, 陕西 西安 710000

摘要: 针对多导弹协同攻击任务中通信拓扑易受干扰和节点失效影响的问题。本文提出了一种抗干扰容错控制方法, 其具有动态重构的特性, 通过网络结构调整策略引入自适应机制系统, 对外界干扰与通信链路丢失的鲁棒性得到有效提高, 保障了集群内部的信息传递与协同决策。研究结果表明此方法于复杂环境中能够达成多导弹集群的协同稳定控制, 极大地提高了系统的任务完成率与容错能力为高效可靠的多导弹协同作战给予了理论支撑以及技术参考。

关键词: 多导弹协同攻击; 通信拓扑重构; 抗干扰容错控制

0 引言

在信息化战争持续演进的当下, 多导弹集群协同攻击作为现代军事作战体系的关键技术, 对提升武器效能与作战效率意义重大。其高度依赖高性能且可靠的信息交互与决策机制, 但真实作战环境复杂多变, 通信链路常面临电子干扰、物理损毁、节点失效等不确定因素干扰。研究表明, 超七成的协同失效事件源于通信拓扑结构动态变化或链路断裂, 这严重削弱了集群协同组织与战斗力。尽管已有冗余链路设计、自恢复网络协议等抗干扰方法, 但在强干扰与多节点故障时, 现有模型难以保障信息传递鲁棒性与决策一致性。为此, 本文聚焦通信拓扑灵活重构, 设计抗干扰容错控制方法, 为多导弹智能集群作战提供支撑。

1 多导弹协同攻击系统中的通信挑战

1.1 通信拓扑失效的主要影响

在多导弹协同攻击系统当中一旦通信拓扑出现失效情况, 那么就会对整个系统的性能表现产生明显的影响。通信拓扑失效后信息传递可靠与及时程度均无保障, 致导弹集群协同决策速度与准确度下降, 通信拓扑失效会引发诸多各异的负面效应, 由于缺乏足够有效的通信链路导弹之间极易呈现信息相互隔绝的状况, 进而严重阻碍整个任务的协调顺利施行。通信拓扑失效将致使多导弹系统产生错误动作或者过度倚赖备用冗余通道的情形。这样便增大了整个系统的复杂程度与资源消耗量, 拓扑变化的不确定性极大系统必须拥有足够强大的自适应能力, 能够迅速做出反应并展开相应调节以此维持稳定运行状态以及抵抗外部干扰的能力, 研究清楚怎样才能有效处理通信拓扑失效问题, 确保多导弹系统具备强大鲁棒性和高效率成为

实现协同攻击任务最终成功的最关键核心所在。

1.2 干扰与节点故障对系统稳定性的威胁

于导弹联合突防体系之中, 通信拓扑的稳固性乃是保持体系整体效能的核心要点所在, 例如在电子对抗领域中的信号干扰与截获操作极有可能致使通信链路陷入瘫痪状态, 进而彻底阻断导弹之间的资料共享进程, 例如导弹自身硬件故障或者效能失效, 同样也会给体系稳固性带来隐患, 这些要素致使导弹群体的联合效能显著下降, 并且或许造成使命失利, 一同作用于资料流的顺利传输与决策流程的可信度。在规划联合控制体系之际务必要着重考虑如何增强通信网络的反干扰性能, 以及节点失效的容忍度以此确保在恶劣条件下能够持续运行并保障决策的准确性。

1.3 现有控制对策及其局限性

当前多数多导弹协同控制方法, 采用固定或部分可变的通信连接方式。设计之初, 未考虑通信连接的动态重构能力。一旦导弹节点出现故障或受战场干扰, 系统反应灵活性将大受限制, 易导致通信中断或信息传递严重延迟, 进而削弱导弹群协同作战能力。传统方法往往默认通信连接稳定、导弹节点功能完好, 但实际战场环境复杂多变。这些控制手段在应对导弹节点损坏或局部通信网络问题时, 容错能力不足, 缺乏足够的韧性调节机制, 难以满足不断变化的攻击任务需求, 亟待改进与优化。

2 动态重构思想与自适应机制

2.1 动态通信拓扑重构理论基础

多导弹协同攻击系统中, 通信拓扑动态重构是保障系统稳定、提升任务成功概率的关键。其基于对网络节点连接结构的机动调节, 以适应外部环境变化与内部故障干扰。系统实时监

测网络状态与节点工作情况，能快速识别失效链路与故障节点。该理论强调整节点高质量连接与实时动态更新，可增强网络适应力与抗干扰性。动态重构涉及物理链路调整与逻辑信息流动优化，确保极端状况下有效信息传递。采用弹性调节办法，设备能依任务与环境变化自动优化结构，使导弹群体在复杂电磁环境中保持协同作战能力，在通讯链路稳定条件下，提高设备抗干扰与故障恢复能力。

2.2 自适应机制在抗干扰容错中的作用

自适应机制对多导弹协同攻击任务至关重要。它能随时自动变更通信网络结构，及时处理外部突发干扰，维持系统稳定运行。该机制持续观察导弹节点运行状况与环境变化，迅速改变控制方法，解决节点故障或链路断开难题。其核心是根据实时数据流动自动切换合适通信路径，保障导弹间信息交流顺畅高效。在容错控制与抗干扰领域，自适应机制强化了系统面对不确定因素的稳健性，使导弹系统在复杂战场环境中维持协同作战效率与整体稳定。它能即时反应处理干扰与故障，提升任务执行可靠性与系统容错能力。

2.3 网络结构调整策略

网络结构调整策略运用多种层次优化手段，以应对通信拓扑变化需求以及外部干扰，借助实时监测网络状况，积极改变节点链接提升系统适应能力跟抗干扰能力，通过分布式算法确保信息在干扰环境中稳定传输，并增强节点间的相互协作能力，在拓扑重构进程当中鉴于通信资源存在局限，运用应用优先级准则确保关键节点优先接入网络，提升系统协调运作效率与稳定运行能力。

3 抗干扰容错控制框架

3.1 控制架构与信息流维护

在多导弹协同攻击任务当中，构建一种极为强大的抗干扰容错控制结构显得极为重要，这种控制结构的设计目的在于保证信息流动是连续的，并且具有可靠性，采用模块化设计理念各模块承担特定职责，如信息采集数据处理以及指令分发执行等以此提高通信资源利用效率，信息流动维护机制通过建立备用路径以及达成拓扑自动修复能力来达成，能够迅速处理外部干扰致使链路断开的状况保证信息传输始终顺畅。面对节点出现故障情况引入分布式决策算法，让集群里面其余节点能够立即协商并调整任务分配方式增强整个系统的韧性和容错性能，各个模块相互依存通过灵活的通信拓扑连接结合自适应调整策略，形成一种极为稳定且具有良好扩展性能的解决方案，使多导弹集群在复杂的战场环境中仍能顺利完成任务。

3.2 容错机制与鲁棒性保障

多导弹协同攻击任务中抗干扰容错机制极为关键，以确保系统在遭遇通信链路故障干扰时仍能可靠运行，通过冗余路径选择故障检测技术设计容错机制，来实现确保即便部分链路节点失效信息流依旧能够通畅传递，鲁棒性保障策略包含在通信拓扑里融入动态调整算法，用以应对拓扑结构变动和外界环境变化。系统可快速识别与修复故障增强总体容错性能，其方式为即时监测各节点状态信息，网络健康状况，抗干扰能力提高依靠各种干扰信号识别隔离，确保导弹集群在恶劣环境当中可靠协同作战。

3.3 控制协同决策流程

管理协调决策过程发挥关键角色，其目的是保证多导弹集群在恶劣环境下能达成协调动作，协调决策过程依赖状态共享信息交互方式，确保节点能制定调节决策在异常情况出现时能及时应对处理，管理架构运用适应性算法监测导弹运行状态相对位置关系，以改善路径规划和攻击策略选择，节点信息流动维持链路稳定容错机制设计显著增强整体鲁棒性能，系统具备强大能力，解决通信中断节点故障问题，协调决策过程提供稳定协调双重保障措施。

4 系统仿真与结果展示

4.1 复杂环境下的仿真设置

为验证动态重构抗干扰容错控制策略的有效性，研究人员构建了多导弹联合攻击系统的虚拟仿真场景。该场景可模拟多种复杂干扰源与节点失效情况，系统包含二十枚导弹，通信链路能在随机断开时自动动态调整。仿真中添加了不同频率的电磁干扰信号与数据包丢失现象，通过随机停止部分导弹通信模块功能模拟节点失效。系统按离散时间推进，时间间隔设为0.1秒，总仿真时长300秒。以任务达成率、通信延迟数值、协同偏差数值为主要性能指标，研究人员多次运行仿真实验，全面考察该策略在不同参数设置下的稳健性与容错性能，以及系统稳定性和信息传输效能表现。

4.2 性能指标与对比验证

在系统仿真与结果展示中，重点评估动态重构抗干扰容错控制方法在多导弹集群中的表现，选取任务完成率、信息传递效率、系统稳定性为关键性能指标。任务完成率反映系统在干扰下达成协同攻击目标的能力；信息传递效率评估节点失效或链路丢失后信息流的完整性；系统稳定性关注动态重构时系统响应的迅捷性。通过与传统固定通信拓扑及无自适应机制方法

对比,所提方法在复杂环境中显著提升任务完成率,增强抗干扰鲁棒性。仿真显示,采用该方法的通信网络在多导弹协同作战中可靠性与效率更优,为实战性能提升提供数据支撑。

4.3 仿真结果讨论

实验仿真所得数据显示所提出的抗干扰容错控制之法于多导弹协同任务进程里,呈现出极为良好的鲁棒性能,在充满复杂干扰的环境当中,这种方法成功维持通信拓扑的完整以及稳定,仿真实验所得的数据还显示即便出现通信链路丢失或者节点故障之类的状况,系统仍旧能够维持较高的协作效率任务完成率大幅提升。新方法在处理节点失效并抵御外部干扰方面相较于传统方法展现出更为显著的优势,体现出强大的容错能力与稳定性能,实验得到的数据表明动态重构方法于实际应用场景内,具备极大潜在价值。

5 理论价值与技术应用前景

5.1 理论创新点总结

研究理论创新点主要呈现于几个相异方面具体来讲运用动态通信拓扑重构之法以化解多导弹协同攻击系统里通信拓扑失效致使信息传递受阻之问题,动态通信拓扑重构方法不但优化通信拓扑架构,还维系系统稳定性与鲁棒性,引入自适应机制网络结构调整策略提升系统抗干扰能力与容错水平即便节点失效通信链路受干扰。也仍然完成协同攻击任务构建抗干扰容错控制框架,结合自适应机制鲁棒控制策略达成复杂环境多导弹协同稳定控制,所有理论创新给予提高多导弹系统任务完成率坚实理论基础,并拓宽多导弹协同作战应用领域。

5.2 应用场景及推广方式

在当代军事战斗中,众多导弹联合攻击系统的有效性以及稳健性成为核心要素,该论文内所呈现的抗干扰容错控制方法具有广阔的应用前景,尤其适用于军事任务中对稳定性和容

错性能要求较高的情况,这一方法在应对复杂电磁环境下的导弹集群战斗时,能够确保通信链路的稳固并保障任务实施的精确性。此方法对于无人机队形和机器人群体配合,在工业自动化领域内具有重大的参考意义,通过与国防科技企业进行协作,能够极大提高相关技术水平推动其在现实应用中的落实执行,这种跨领域的技术推广,将会有助于改进系统的总体效能以及实用性。

5.3 技术发展趋势

随着智能化技术进步速度的不断加快,未来多导弹协同系统将呈现出明显增强的自适应能力和灵活能力的特点,人工智能算法不断改进优化赋予导弹集群强大即时学习能力和决策能力,使导弹集群在复杂战场环境中自主优化通信策略选择,随着量子通信技术以及超宽带技术逐步获得应用,通信链路的抗干扰能力得以提升进而实现无线传输稳定性大幅提高。伴随分布式计算技术还有边缘技术逐步达成广泛推广,多导弹协同攻击系统会进一步提高计算效率以及响应速度,以此为复杂联合作战任务给予强大技术支持保障。

6 结束语

综上所述,基于动态重构的抗干扰容错控制模式为多导弹协同攻击任务提供了有效解决方案,显著提升了群体系统在复杂对抗环境下的信息传递与协同决策能力,展现出良好的工程应用前景。然而,该模式在超大规模集群扩展性、实时计算效率及复杂电子对抗场景适应性等方面仍存不足。未来研究需聚焦超大规模集群分布式控制与重构优化、智能化自适应异常判别算法开发,以及基于实际装备平台的硬件在环验证,通过技术突破推动多导弹协同作战向更高水平的智能化与可靠性迈进,为国防现代化建设提供关键技术支撑。

参考文献:

- [1] 王瑞东,王世练,张炜,张政.多弹分布式协同智能抗干扰通信策略[J].战术导弹技术,2022,(04):187-195.
- [2] 陈高杰,常琳,杨秀彬,杨春雷,黎艳博.双星编队构形保持抗干扰容错控制[J].光学精密工程,2021,29(03):605-615.
- [3] 滕昊,王智慧,陈昌,乔建忠,王陈亮.多源干扰下运载器精细抗干扰容错姿态控制[J].航天控制,2022,40(04):3-11.
- [4] 张汝云,肖戈扬,单麒赫,邹涛,李丹,滕菲.多模态网络下多智能体协同控制的通信拓扑重构方法[J].通信学报,2022,43(04):50-59.
- [5] 刘立.风力发电机抗干扰容错控制探讨[J].通信电源技术,2020,37(06):241-242.

作者简介: 张玢 (1984.10—),女,汉族,北京,大学本科,高级工程师,研究方向:半导体。