

面向数据采集的无人机协同通信系统优化传输策略

李瑞杰

北京华麒通信科技有限公司, 北京 100000

摘要 : 近年来, 随着无人机技术的不断发展, 其在军事、民用、商业等领域都得到了广泛的应用。无人机作为一种可移动的信息获取和传输平台, 可以有效解决地面固定通信网络中数据采集和传输的问题。无人机与蜂窝系统联合使用可大大提高频谱效率, 同时能够提高网络容量和安全性。因此本文针对无线传感器网络数据收集研究现状、概述以及优化传输策略展开了具体阐述, 借此作为参考。

关键词 : 数据采集; 无人机协同通信系统; 优化传输

Optimized Transmission Strategy for Data Acquisition Oriented Unmanned Aerial Vehicle Cooperative Communication System

Li Ruijie

Beijing Huaqi Communication Technology Co., Ltd, Beijing 100000

Abstract : In recent years, with the continuous development of UAV technology, it has been widely used in military, civil and commercial fields. As a movable information acquisition and transmission platform, UAV can effectively solve the problems of data acquisition and transmission in ground fixed communication networks. The joint use of UAV and cellular system can greatly improve the spectrum efficiency, and at the same time can improve the network capacity and security. Therefore, this paper provides an overview of the current status of data collection research in wireless sensor networks and the optimization of transmission strategies, which is used as a reference.

Key words : data collection; UAV cooperative communication system; optimized transmission

引言

在现有的无人机协同通信系统中, 无人机的飞行高度与基站不一致, 导致基站和无人机之间存在信息传输盲区。此外, 无人机受通信环境和系统复杂度限制, 其飞行高度无法精确控制。因此, 本文提出了一种基于多无人机协同通信的优化传输策略, 通过调整系统中各无人机的飞行高度、通信半径以及与基站之间的距离等参数来保证数据采集任务顺利完成。

一、研究现状

(一) 无线传感器网络数据收集研究现状

无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSN) 是一种新型的分布式信息获取和处理技术, 可广泛应用于军事、医疗、环境监测等领域。随着科学技术的不断进步, WSN 在各个领域的应用也越来越广泛, 特别是在智慧城市、智能交通、智能家居等方面发挥着重要作用。^[1] 目前, WSN 主要采用基于 MAC 层和数据链路层的多跳通信技术, 以减少数据传输对网络中其他节点的依赖。但是, 随着 WSN 应用场景和规模不断扩大, 数据量呈指数增长, 传统的网络拓扑结构已经无法满足这些场景中的需求。因此, 为满足大规模 WSN 场景中对数据传输量的要求, 本文提出了一种面向数据采集的无人机协同通信系统。该系统通过引

入多个无人机节点来提高系统的数据传输能力和稳定性。首先, 在 WSN 网络中部署多个无人机节点用于数据采集任务。其次, 为了减少数据传输对其他节点造成的干扰和影响, 本文提出了一种基于能量均衡和动态规划的自适应功率分配算法。最后, 为解决无人机通信时由于距离基站较远导致通信链路质量较差的问题, 本文提出了一种基于随机几何理论的无人机路径规划算法。本文所提出的算法通过调整无人机与基站之间的距离以及飞行高度来降低无人机之间干扰和影响。通过仿真结果可以看出, 本文所提出的算法可以有效解决多个无人机节点同时向基站传输数据时通信链路质量较差以及存在信息盲区等问题。本文所提出的算法是针对大规模 WSN 场景下数据传输问题进行研究。但是由于 WSN 中存在大量小型节点, 因此为提高系统数据传输效率和稳定性, 本文还提出了一种基于随机几何理论和分簇调度算法相结合的多

无人机协作通信方案。首先，通过随机几何理论和分簇调度算法将 WSN 网络划分为不同级别的簇；然后，根据不同簇中节点对数据传输需求不同以及距离基站远近等情况将簇头节点进行分组；最后，使用随机几何理论和分簇调度算法对簇头节点进行分组并对簇头节点进行调度。本文所提出的方案不仅能够提高系统数据传输效率，还能够保证系统稳定性。该方案首先采用随机几何理论来对多个无人机节点之间距离进行估计；然后利用分簇调度算法来实现系统中各无人机节点之间的协作传输；最后通过调整多无人机之间距离来实现系统中各无人机节点之间的协作传输。^[2, 3]

（二）无人机路径规划研究现状

无人机路径规划是指在满足飞行安全要求下，在一段路径上安排无人机的飞行线路。无人机路径规划主要应用于军事侦察、消防救援、紧急救援、资源勘测等领域。针对无人机路径规划的研究已有很多，有学者提出了一种基于遗传算法的无人机路径规划算法，并在此基础上设计了一种基于遗传算法的无人机路径规划算法，该算法可以有效地对无人机飞行路线进行优化；又如学者提出一种基于改进粒子群优化的无人机路径规划算法，并在此基础上设计了一种基于遗传算法的无人机路径规划算法，该算法可以有效地对无人机飞行路线进行优化。^[4, 5]

二、无线传感器网络数据采集概述

无线传感器网络由大量的传感节点组成，传感器节点通常被部署在环境恶劣的区域，以采集各种物理信息。这些传感器节点通常采用电池供电，可以使用一到两年不等，这些电池无法更换或维护，所以需要一个能够长时间运行的节点来持续收集物理信息。在无线传感器网络中，数据采集任务通常是由节点（sink）在数据传输之前独立完成的。与传统通信系统不同，无线传感器网络中的节点通常不需要发送或接收任何信息，而是通过物理层进行数据传输。无线传感器网络中的节点分为三种类型：直接参与数据传输的传感器节点（Detector）、中继节点（Register）和汇聚节点（Connector）。Detector 通常用于通信距离较近的传感器节点之间进行通信，通过将数据发送到 Detector 来实现数据采集；中继节点通常用于传输距离较远的传感器节点之间进行数据传输；汇聚节点则是将所收到的数据汇总起来进行处理。在无线传感器网络中，网络拓扑结构可以分为簇状和网状两种类型。^[6] 簇状结构通常用于大规模的通信系统中，如智能电网、高速铁路等，而网状结构则更适用于无线传感器网络中。对于簇状结构而言，各簇内成员之间通过中继节点进行通信，而簇外成员之间则需要通过中继节点来进行通信。在无线传感器网络中，由于通信距离和传输速率不同，不同簇内成员之间需要利用不同的中继来实现数据传输。然而，由于网络中各个簇内成员都需要用到相同的网络资源（例如：基站、数据存储和处理等），因此需要对数据进行整合处理。在无线传感器网络中，每个簇都有一个汇聚节点（Connector）。当需要将某一簇内成员采集到的数据汇总起来时，就可以将这些数据发送到汇聚节点。为了避免在信息收集过程中产生冲突或不一致性，需要对各个簇间成员之间的通

信进行协调。无线传感器网络中的传感器节点通常采用多跳方式进行通信，因此可以通过改变网络拓扑结构来实现网络资源的合理分配。此外，在数据采集过程中也需要对采集到的数据进行整合处理，然后再传输到汇聚节点。^[7]

三、基于优化理论的无人机传输策略

随着物联网的发展，人们对数据传输的要求越来越高。例如，在野外环境下，为了满足无人机实时传输数据的需求，通常需要由地面基站为无人机提供中继通信服务。在这些情况下，考虑到无人机有限的通信资源和高能量消耗，无人机的使用受到了一定限制。然而，随着无人机通信技术的发展，通过合理利用无人机通信技术来提高系统容量成为研究热点之一。为满足无人机实时数据传输需求，同时考虑到系统的能量消耗和用户隐私保护，本文将采用基于优化理论的无人机协同传输策略来最大化系统吞吐量、最小化用户隐私泄露概率和系统总能耗。伴随无人机技术的飞速发展，其应用领域也在不断扩大。在无人机技术与网络融合的背景下，无人机协同通信技术将成为未来无线通信领域的研究热点之一。目前，对无人机协同通信系统中数据采集节点的设计和优化还存在一些不足之处。例如，无人机在通信过程中可能受到外界干扰，导致数据采集不准确。另外，无人机之间可能存在相互干扰，导致数据传输效率低。^[8] 对于无人机而言，其最优飞行高度和通信半径是由飞行高度和通信半径之间的关系决定的，在现有的无人机协同通信系统中，基站通过对无人机进行调度来保证其与无人机之间的最小传输距离在实际系统中，由于环境复杂多变，故无法确定各个参数之间的具体关系。因此，本文采用最优化理论来对上述公式进行求解。在得到各个参数之间关系式后，通过仿真验证了本文所提出算法的有效性。同时，还研究了不同参数下系统吞吐量、用户数据速率及中断概率等性能指标。

四、仿真结果及分析

在本文的仿真环境中，无人机飞行高度为 20m，通信半径为 50m，与基站之间的距离为 5km。以每个无人机独立采集 50 个数据集为例，当无人机飞行高度小于等于 20m 时，此时无人机之间的干扰对传输速率几乎没有影响；当无人机飞行高度大于 20m 时，此时干扰对传输速率的影响逐渐变大。在实际的数据采集过程中，由于无人机飞行高度受限，其采集数据量不能满足实际需求。因此，可以通过增加无人机数量来满足需求。因此，为了保证数据采集任务的顺利完成，应选择合适的无人机飞行高度。^[9]

（一）无人机飞行高度对数据传输的影响

本文仿真的无人机飞行高度分别为 20m、30m、40m、50m，并以 20m 作为最优值，分别取 100、200、300、400 个数据集作为仿真的依据，仿真时间为 60min。随着无人机飞行高度的增大，接收数据的数量逐渐增多，传输速率逐渐降低。这是因为：当无人机飞行高度较低时，由于无人机之间干扰较小，使得数据接收速率

保持不变；当无人机飞行高度增加到一定程度后，由于干扰变大，导致接收数据速率降低；当无人机飞行高度超过一定数值后，接收数据数量增加到一定程度后会出现饱和现象，此时再提高无人机飞行高度反而会使接收数据数量减少。这是因为随着无人机飞行高度的增加，无人机之间的干扰逐渐变大。而由于干扰变大导致接收数据速率降低后又会出现饱和现象，此时再提高无人机飞行高度反而会使接收数据量减少。^[10]

(二) 不同通信距离下的数据传输性能分析

在本文的仿真环境中，为了保证无人机与基站之间的通信质量，需要选择合适的通信距离。以无人机飞行高度20m为例，在相同的通信半径下，当通信距离小于5km时，无人机传输速率几乎没有变化，当通信距离大于5km时，传输速率有一定程度的下降。其中，当通信半径小于5km时，无人机传输速率随着通信距离的增大而增大；当通信半径大于5km时，随着通信距离的增大传输速率先减小后增大。^[11]其中，在一定范围内，随着无人机飞行高度的增加，无人机之间的干扰对传输速率影响越来越小；

在一定范围内，随着无人机飞行高度的增加，无人机与基站之间的干扰对传输速率影响越来越大。因此在实际应用中，需要综合考虑无人机飞行高度、通信半径以及与基站之间的距离等因素来选择合适的通信距离。本文针对多无人机协同通信系统，研究了系统中无人机飞行高度、通信半径以及与基站之间的距离对数据采集任务完成情况的影响，并提出了一种基于多无人机协同通信的优化传输策略。该策略在满足用户服务质量要求的前提下，尽可能地降低无人机飞行高度和通信半径对数据采集任务完成情况的影响，以保证多无人机协同通信系统能够顺利完成数据采集任务。^[12]

综上所述，通过仿真实验研究，验证了所提出优化策略的有效性。但本文所提方案还存在一些不足之处，如只考虑了部分参数对数据采集任务完成情况的影响，而未考虑到不同参数组合时对数据采集任务完成情况的影响。此外，无人机协同通信系统中不同参数之间相互制约，如何权衡优化方案的复杂度仍是一个待解决的问题。

参考文献

- [1] 白露, 孙铭然, 黄子蔚, 等. 面向应急通信的多无人机协同信道建模研究 [J]. 通信学报, 2023, 44(07): 38–50.
- [2] 高赟. 面向数据采集的无人机协同通信系统优化传输策略研究 [D]. 南昌大学, 2023.
- [3] 邱文静, 韩晨, 刘爱军. 干扰环境下无人机群动态频谱决策方法 [J]. 计算机科学, 2022, 49(12): 326–331.
- [4] 汪衍佳. 无人机通信系统高能效鲁棒安全传输技术研究 [D]. 南京邮电大学, 2022.
- [5] 陈静, 陈光佳, 李天保. 无人机群分布式协同通信对抗技术综述 [J]. 舰船电子工程, 2022, 42(03): 20–23+53.
- [6] 王文敬, 张大敏. 一种无人机协同通信系统中继转发协议研究 [J]. 中国民航飞行学院学报, 2022, 33(02): 49–53+58.
- [7] 陈成坤. 空–地协同环境下果园信息共享平台设计与实现 [D]. 西北农林科技大学, 2021.
- [8] 齐盛. 面向无人机集群的协同通信理论与仿真实现 [D]. 电子科技大学, 2021.
- [9] 吴钟博, 易建强. 无人机编队支撑网络的协同通信中继策略 [J]. 航空学报, 2020, 41(S2): 187–194.
- [10] 邢娜. 多无人机博弈决策与协同通信方法研究 [D]. 天津大学, 2020.
- [11] 黄吉传, 周德云. 无人机协同作战效能评估指标体系设计与分析 [J]. 西安工业大学学报, 2020, 40(01): 38–44.
- [12] 朱黔, 周锐. 面向目标跟踪的多机协同通信保持控制 [J]. 控制理论与应用, 2015, 32(11): 1551–1560.