

基于簇结构的集群无人机自组网路由协议

王 磊,赵国欣

(黄河水利职业技术学院,河南 开封 475004)

摘要:为了提高集群无人机自组网各个链路的质量,提升自组网网络节点分组投递率,进而增强其可扩充性,文章引入簇结构设计了一种全新的无人机自组网路由协议。建立无人机节点位置预测模型,获取节点位置的动态变化信息。对集群无人机自组网分簇链路质量进行计算,优化自组网网络的整体性能。划分集群无人机节点无线传输区域,基于簇结构设计路由协议。实验分析结果可知,新的自组网路由协议在节点移动速率逐渐增大的趋势下,节点分组投递率较高,说明本文设计的路由协议性能较好。

关键词:簇结构;协议;无人机;集群;路由;自组网

中图分类号:TN915.04

文献标识码:A

文章编号:2096-9759(2023)06-0073-03

0 引言

路由技术在网络运行中至关重要,无论是在无线传感网络还是有线网络中,均起到了通信支撑的作用^[1]。路由协议属于一种数据传输策略,在高速运行的网络中,明确数据源节点,通过路由协议,将数据从源节点传输至网络拓扑中的目标节点,保证网络通信的连通性^[2]。路由协议在集群无人机自组网中的应用意义重大,主要原因在于其缺少固定的网络控制端,必须通过协议,建立并维护网络节点的通信路径^[3]。

集群无人机自组网具有庞大且复杂的技术体系,涉及技术与内容较多,将分布在各个区域的多传感器采集信息,以无线的方式,进行汇集处理,实现对特定区域特定信息状态的实时监测与控制^[4]。然而,当前传统的无人机自组网协议仍然不够完善,主要体现在鲁棒性较低,运行时效性较差,无法为集群无人机与地面基站的高效通信提供保障,导致无人机自组网平均端到端传输时延较高、分组投递率较低。

基于此,本文在传统集群无人机自组网路由协议的基础上,作出了优化设计,引入簇结构,设计了一种与集群无人机自组网匹配度较高的路由协议。簇结构能够调整无人机自组网拓扑结构,将其调整为分层结构,以分簇管理的方式,提高自组网的可扩展性,改善传统路由协议存在的不足^[5]。

1 集群无人机自组网路由协议设计

1.1 建立无人机节点位置预测模型

基于等维信息灰色预测理念,建立自组网节点位置预测模型。通过模型,获取自组网内节点位置的动态变化信息,为后续路由协议设计提供基础保障。集群无人机自组网在时间不断增加的趋势下,节点位置与速度会发生不同程度地变化,自组网中的噪声与干扰影响也会随之改变^[6]。

设定无人机节点位置预测模型的滑动时间窗口,每个时间窗口为4秒,阈值为2,最小滑动单元格定为1秒,控制窗口输入维数保持不变,过滤窗口内最旧的位置数据。过滤最旧的位置数据,能够有效地消除模型的噪声影响,展现节点最新位置的变化趋势^[7]。根据无人机节点的变化,不断增加新的节点位置数据,进而控制节点位置预测模型的建模长度^[8]。从滑

动时间窗口提取无人机节点位置数据序列规律,以动态预测的方式,预测节点下一时刻位置。设定预测模型的输入维数为,在预测集群无人机节点第 k 个时刻的位置时,去掉前一时

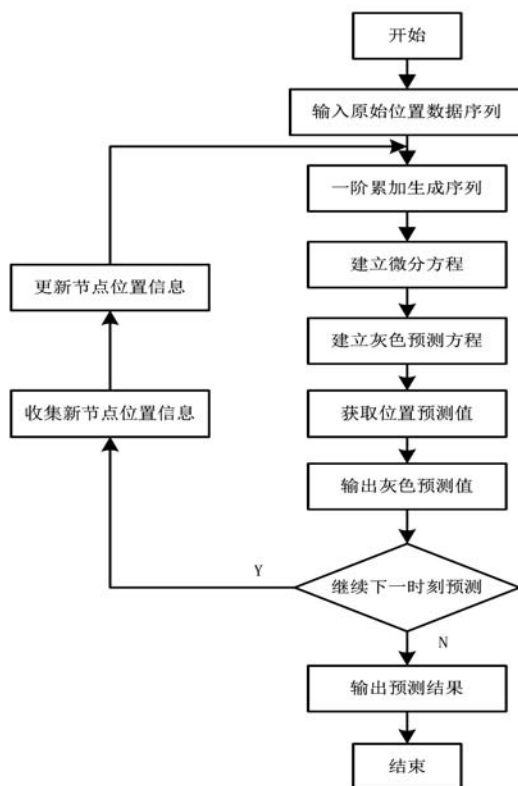


图1 无人机节点位置预测模型运行流程示意图

如图1所示,在模型中输入集群无人机原始位置数据序列,通过一阶累加的方法原理,生成累加后的序列。基于序列的结构特征,建立与自组网适配度较高的微分方程与灰色预

收稿日期:2023-01-29

基金项目:1.全国工业和信息化职业教育指导委员会2022-2023年度科研课题:“个性化”“全人化”产教融合人才培养模式研究与实践(项目编号:GXHZWC87383);2.2021年度河南省高等教育教学改革研究与实践项目(高等职业教育类):“价值引领、课证融通、凸显个性”的现代学徒制人才培养研究与实践(项目编号:2021SJGLX758)。

作者简介:王磊(1983-),男(汉族),河南开封人,硕士,副教授,研究方向:通信、网络。

测方程,得出集群无人机自组网位置预测值,并输出位置预测对应的灰色预测值。根据集群无人机自组网的实际运行状况,判断模型是否需要继续进行下一时刻的预测^[9]。若需要继续进行,则模型根据自组网的运行特征,收集全新的节点位置信息,收集结束后,实时更新模型内的信息,删除模型中上一时刻的旧位置信息,再次进行一阶累加序列生成操作。若不需要继续进行下一时刻的位置预测,则输出结果后结束模型运行。

1.2 计算集群无人机自组网分簇链路质量

在集群无人机自组网运行过程中,分簇链路质量至关重要,直接影响了网络的整体性能。因此需要对自组网分簇链路质量进行全方位的计算。

明确集群无人机自组网的分簇结构网络规模,判断自组网的可扩充性是否符合运行的需求^[10]。将自组网网络中的节点划分为多个不同结构与形态的簇,使每个簇结构中均含有簇成员与簇头。簇结构划分完毕后,对自组网各个簇结构的分簇链路质量进行计算,公式为:

$$Q = d_1 M + d_2 R + d_3 E - d_4 S \quad (1)$$

其中, Q 表示集群无人机自组网簇结构的分簇链路质量; M 表示各个分簇链路的稳定度值; d_1 表示稳定度值的权重系数; R 表示集群无人机自组网网络节点的可用带宽比; d_2 表示可用带宽比的权重系数; E 表示集群无人机自组网网络节点的剩余能量比; d_3 表示剩余能量比的权重系数; S 表示集群无人机自组网网络节点的拥塞度值; d_4 表示拥塞度的权重系数。关于以上各个权重系数的数值选取,目前没有较为高效的方法,需要通过大量试验找到最优结果所对应的权重分配。根据不同的无人机自组网网络环境与业务,设定各个权重系数值,计算出集群无人机自组网分簇链路质量,为后续设计最优路由协议以及提高自组网网络的整体性能提供重要的依据。

1.3 基于簇结构设计路由协议

在上述集群无人机自组网分簇链路质量计算结束后,引入簇结构,设计自组网路由协议。划分集群无人机节点无线传输区域,如图2所示。

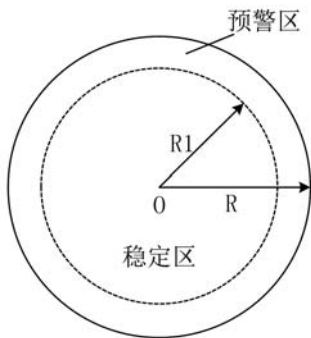


图2 集群无人机节点无线传输区域划分结构示意图

如图2所示,本文划分的区域中,包括集群无人机节点无线传输稳定区与预警区两个部分。图中, R 表示集群无人机节点进行无线传输的总体半径, $R1$ 表示无线传输稳定区的半径。无线传输稳定区与预警区在链路稳定度方面存在一定的差异,在设计路由协议过程中需要综合考虑^[11]。在此基础上,基于簇结构设计自组网路由协议节点洪泛规模,保证各个节点能够实时根据自组网网络拓扑变化情况,调整发送数据的带宽。本文设计的基于簇结构的集群无人机自组网网络节点洪泛结构

示意图,如图3所示。

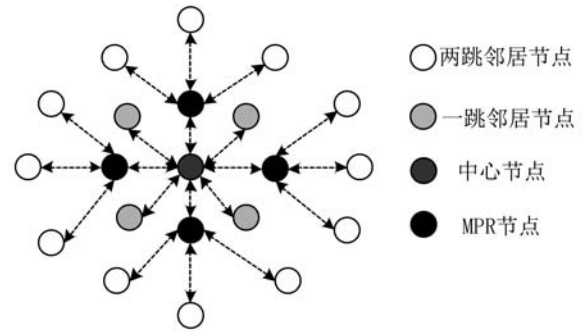


图3 基于簇结构的节点洪泛结构示意图

如图3所示,自组网节点主要由四种节点组成。中心节点发送消息,一跳邻居节点根据中心节点发送消息作出反应,反应一段时间后,仅其中的MPR节点能够进行消息转发,将TC消息实时转发给自组网两跳邻居节点。网络节点洪泛结构设计结束后,计算自组网路由。

首先,删除集群无人机自组网本地路由表的内容,依据自组网簇结构,生成具有对称特征的邻居路由表项,并在表项内标记网络节点无线通信距离与邻居节点地址。其次,查找自组网路由表内无线通信距离最大与最小的节点,建立全新的路由表项,进行重复操作,直至没有全新的自组网网络节点接入路由表项为止。监控集群无人机自组网拓扑的动态变化,一旦拓扑表发生变化,需要对路由作出计算,进而达到保证自组网路由信息时效性的目标。最后,对集群无人机自组网路由机制进行优化。

本文认为,集群无人机在与周围网络节点进行通信时,无人机的接收功率至关重要,应当实时监测接收功率的动态变化。通过对无人机接收数据分组,获取各个分簇链路的运行情况。基于自组网各个分簇结构节点通信链路的高效运行,将本地路由信息实时广播到整个集群无人机自组网,划分链路阈值,避免自组网通信链路发生中断。

2 实验分析

综合上述内容,为本文针对当前集群无人机自组网路由协议实际运行中存在的问题与不足,引入簇结构,设计的全新路由协议的整体流程。为了验证本文设计路由协议的有效性,开展了如下文所示的仿真实验,确保其应用可行性后方可投入无人机自组网中广泛应用。

2.1 实验准备

按照上述本文提出的路由协议设计流程与设计特点,在MATLAB环境下,搭建集群无人机自组网网络拓扑结构模型,将无人机节点,以随机分布的方式,布设在三维自由空间内。本次实验中,无人机节点对象的主要组成部分包括路由协议、报文生成器、运动模型、MAC协议以及物理层协议。

其中,设定MAC协议具有高效分布式协调功能,与集群无人机自组网的适配度较高,设定物理层协议的信道速率不超过2.5Mbps。设置预测模型的维数为100,经过多次试验后得到的最佳结果,将各个分簇链路的稳定度值设定为2.6,集群无人机自组网网络节点的可用带宽比设定为2/3,集群无人机自组网网络节点的剩余能量比设定为94%,集群无人机自组网网络节点的拥塞度值设定为0.04。在此基础上,根据实验相关要求,设置集群无人机自组网路由协议仿真实验的各项参数:路由协议仿真区域为4850m×4850m×80m;路由协议

仿真时间为 550s; 节点有效通信距离为 1km; 数据报文长度为 525Byte; MAC 缓冲区长度为 310KB; 节点暂停时间为 0; 发包速率为 5.5pkts/s。搭建完实验环境后, 对本文设计的路由协议性能进行实验检测。

2.2 结果分析

选取集群无人机自组网分组投递率作为本次实验的评价指标, 其计算公式为:

$$P = P_R / P_M \times 100\% \quad (2)$$

其中, P_R 表示集群无人机自组网节点成功接收且成功到达目的地的数据分组数; P_M 表示集群无人机自组网源节点发送的数据分组总数。该评价指标能够有效地评价集群无人机自组网路由协议的性能, P 值越高, 路由协议的性能越好, 反之同理。在集群无人机自组网通信过程中, 设定各个自组网子区域节点传输数据时, 以多跳路由路径传输, 通过中继节点的间接方式, 将数据上传至网络汇聚节点, 进而进行无人机远距离通信数据传输任务。为了使评价结果更加直观, 引入对比分析的实验原理, 将本文提出的基于簇结构的路由协议设置为实验组, 将文献[3]提出的路由协议、文献[4]提出的路由协议分别设置为对照组 1 与对照组 2, 进行对比分析。设定集群无人机自组网节点移动速率分别为 10m/s、20m/s、30m/s、40m/s、50m/s、60m/s、70m/s, 利用 MATLAB 模拟分析软件, 测定节点移动速率逐渐增大的趋势下, 三种路由协议对应的节点分组投递率, 并绘制成图 4 所示的评价指标对比示意图。

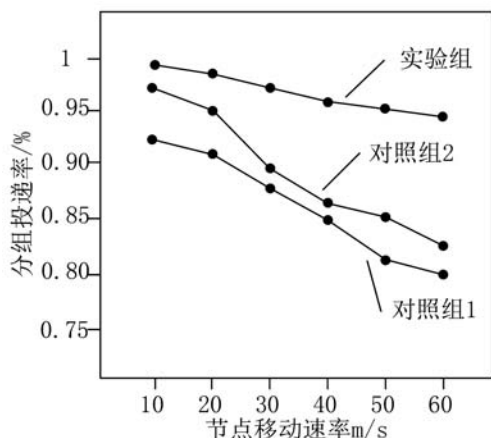


图4 集群无人机自组网节点投递率对比结果

根据图4的对比结果可以看出, 在三种集群无人机自组网路由协议中, 本文设计的基于簇结构的路由协议, 在自组网节点移动速率逐渐增大的趋势下, 节点分组投递率变化较稳定, 无明显波动, 最高分组投递率接近1, 其各个节点对应的分组投递率均高于另外两个对照组。得到如此结果的原因是, 本文设计的路由协议中首先建立了位置预测模型来预测无人

机的位置, 而后划分簇结构, 并对自组网各个簇结构的分簇链路质量进行计算, 提高集群无人机自组网各个链路的质量。而对照组1和2则未能事先预测无人机对应的位置, 使得所构建的路由模型存在一定的误差, 导致各个链路的质量较低。不难看出, 本文设计的路由协议应用后, 自组网节点分组投递率较高, 表明路由协议性能较好, 适用于集群无人机拓扑变化频繁的自组网网络中, 链路的稳定性得到了显著提升, 发生断裂的可能性较低。

3 结语

概而言之, 科学合理的路由协议对集群无人机自组网的稳定运行具有重要的影响, 能够保证集群化无人机协同飞行的能力, 打破信息传输与交互在距离方面的限制, 提升移动信息采集能力。基于此, 本文在传统路由协议的基础上, 引入簇结构, 设计了基于簇结构的集群无人机自组网路由协议。通过本文的研究, 优化了无人机自组网拓扑结构, 提高了路由协议的稳定性与高效性, 降低了由于自组网拓扑频繁导致路由发生断裂的概率。本文设计的路由协议, 在高移动性与高负载性条件下, 均能够表现出良好的性能, 对促进集群无人机自组网的高效运行具有重要研究意义。

参考文献:

- [1] 张珉,董超,杨朋,等.无人机自组网路由协议研究综述[J].数据采集与处理,2022,37(05):952-970.
- [2] 郭晶晶,高华敏,刘志全,等.面向无人机自组网的路由消息完整性保护方法[J].航空科学技术,2022,33(04):28-38.
- [3] 张傲,段续庭,田大新.基于链路质量评估的飞行自组网抗干扰多路径路由协议[J].无人系统技术,2022,5(02):80-92.
- [4] 钟剑峰,王红军.适用于无人机集群应急通信系统分簇路由协议[J].火力与指挥控制,2022,47(02):56-66.
- [5] 姚玉坤,张本俊,周杨.无人机自组网中基于 Q-learning 算法的及时稳定路由策略[J].计算机应用研究,2022,39(02):531-536.
- [6] 梅家栋,南建国.无人机自组网中改进型反应-贪婪-反应路由协议[J].空军工程大学学报(自然科学版),2021,22(04):22-28.
- [7] 孙一凡,米志超,王海,等.基于分簇的拓扑自适应的无人机蜂群 OLSR 路由协议[J].计算机科学,2021,48(06):268-275.
- [8] 李操,杨余旺,肖高权,等.节点密集型无人机自组网路由协议研究[J].舰船电子工程,2021,41(03):93-96+101.
- [9] 王玉,王文灿,白丽,等.基于链路生存时间预测的高动态飞行自组网组播路由协议[J].计算机工程,2021,47(11):198-206.
- [10] 尚建贞.基于拓扑信息的无人机自组网路由协议[J].长江信息通信,2021,34(12):55-57.

(上接第 72 页)

- [4] 孔钰婷,谭富祥,赵鑫,张正航,白璐,钱育蓉.基于差分隐私的 K-means 算法优化研究综述 [J]. 计算机科学, 2022,49(02):162-173.
- [5] 刘广聪,黄婷婷,陈海南.改进的二分 K 均值聚类算法[J].计算机应用与软件,2015,32(02):261-263+277.
- [6] 张军伟,王念滨,黄少滨,蔺世明.二分 K 均值聚类算法优化及并行化研究[J].计算机工程,2011,37(17):23-25.
- [7] 朱连江,马炳先,赵学泉.基于轮廓系数的聚类有效性分析

[J].计算机应用,2010,30(S2):139-141+198.

- [8] 付卫红,马丽芬,李爱丽.基于改进 K-均值聚类的欠定混合矩阵盲估计[J].系统工程与电子技术,2014,36(11):2143-2148.
- [9] 付丽梅.基于 K-means 优化的 SOM 神经网络算法的视频推荐系统 [J]. 软件工程, 2022,25 (10): 17-19+7. DOI: 10.19644/j.cnki.issn2096-1472.2022.010.004.
- [10] 雷小锋,何涛,李奎儒,谢昆青,丁世飞.面向结构稳定性的分裂-合并聚类算法[J].计算机科学,2010,37(11):217-222.