

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2108079

# 一种面向 FANET 的改进 OLSR 协议\*

吴梦 赵一帆 周恩达

(云南民族大学电气信息工程学院 昆明 650000)

**摘要:** 路由协议对于无人机自组织网络(FANET)的服务质量(QoS)具有重要意义。FANET 中节点的高速移动会带来网络拓扑剧烈变化,这一特性会加剧链路中断,从而导致网络 QoS 显著降低。本文提出一种基于链路质量的低路由开销协议(LQLR\_OLSR),针对 FANET 中多点中继(MPR)集进行优化,减少冗余的 MPR 节点,并修改基于期望传输计数(ETX),使其作为路由度量,融合正向传输成功率、反向传输成功率、链路分组大小和链路带宽 4 个特征,实现路由多径自适应。通过 OPNET 仿真结果表明,FANET 环境下 LQLR\_OLSR 在平均吞吐量、发包成功率、路由开销和平均端到端时延性能方面明显优于 Global\_OP\_OLSR 和 OLSR。

**关键词:** 无人机自组网;OLSR 协议;路由度量;OPNET 仿真

**中图分类号:** TN915.04 **文献标识码:** J **国家标准学科分类代码:** 510.50

## An improved OLSR protocol for FANET

Wu Meng Zhao Yifan Zhou Sida

(School of Electrical and Information Technology, Yunnan Minzu University, Kunming 650000, China)

**Abstract:** The routing protocol is of great significance to the quality of service (QoS) of the unmanned aerial vehicle self-organizing network (FANET). The high-speed movement of nodes in FANET will bring about drastic changes in the network topology. This feature will aggravate the link interruption, resulting in a significant reduction in network QoS. This paper proposes a low routing overhead protocol based on link quality (LQLR\_OLSR). It optimizes the multipoint relay (MPR) set in FANET to reduce redundant MPR nodes. Then modified the expected transmission count (ETX) based on it as a routing metric, integrated four characteristics of forward transmission success rate, reverse transmission success rate, link packet size and link bandwidth to realize routing multipath adaptation. The OPNET simulation results show that LQLR\_OLSR in FANET environment is significantly better than Global\_OP\_OLSR and OLSR in terms of average throughput, packet transmission success rate, routing overhead and average end-to-end delay performance.

**Keywords:** flying ad-hoc networks;OLSR protocol;routing metric;OPNET simulation

## 0 引言

近年来,无人机技术发展迅速,在航拍、5G 通信、农林监测、搜救<sup>[1-2]</sup>等诸多领域得到应用。单架无人机的通信和感知能力为多架无人机协同工作提供了基础,这使得小型多无人机协同工作以替代大型飞机单独工作成为可能<sup>[2]</sup>。由于能够支持多架无人机之间高效、实时和协作的通信,无人机自组网(flying ad-hoc networks, FANET)引起了工业界和学术界的关注。与移动自组织网络(mobile ad-hoc networks, MANET)类似,路由协议对 FANET 至关重要<sup>[3]</sup>,针对于 FANET 这种每个节点既可以是发送与接收节点又可以作为转发节点,传输的路径一般为多跳路径的

情况,路由选择很大程度上决定了网络的性能。

优化链路状态路由协议(optimized link state routing, OLSR)下每个无人机节点都能够实时掌握网络拓扑,该协议适用于短时并发传输、低时延的网络应用场景<sup>[4-6]</sup>。OLSR 协议通过在一跳邻居范围内选取多点中继节点(multipoint relay, MPR)来减少拓扑控制消息(topology control, TC)的发送和转发<sup>[6]</sup>。但是针对于中小规模 FANET 的 OLSR,其面临着能量有限性和网络拓扑复杂、动态的挑战<sup>[7]</sup>。由于其在航拍、监测等涉及大量图传工作的场景中,各个节点均需维护较大的 MPR 集,这会增加网络中的控制开销,导致可用带宽降低,使链路中断的可能性增大。因此针对 OLSR 选取适

收稿日期:2021-10-13

\* 基金项目:国家自然科学基金(62063035)项目资助

当的 MPR 集对于保证 FANET 的网络性能至关重要。然而该项工作具有挑战性,因为这要求优化 FANET 的 MPR 集的同时,还需对链路选择进行优化以保障网络的服务质量 (quality of service, QoS)<sup>[8]</sup>。

近年来有许多相关研究,首先针对 OLSR 协议路由控制开销过大的问题,文献[9-10]通过对 MPR 算法进行全局性的改进,优化了 MPR 集的大小,提高了协议的网络性能,但刘杰等<sup>[9]</sup>所提出的 MPR 优化算法在网络拓扑变化频繁的情况下,MPR 集可能会出现冗余;而 Maccari 等<sup>[10]</sup>所提出 MPR 优化算法需要相当大的发射功率。文献[11]在具有高移动性的无线网络中改进 OLSR,通过选择源节点右侧或左侧的 MPR 来减少路由开销,该 MPR 取决于向其发送数据的节点的位置,但其仅适用于网络负载非常小的网络。文献[12]应用博弈论以减少密集网络中的控制数据包,通过考虑其邻居节点的影响,改变节点的选择意愿,改善 MPR 选择,其适应于密集且节点移动速度小的网络。其次,在提高链路质量方面,文献[13]结合期望传输计数度量 (expected transmission count, ETX) 长期路由和短期路由度量的路由机制,提出一种可以快速响应链路质量的变化并切换到吞吐量较高的路由,但其采用的是静态无线网络。Jain 等<sup>[14]</sup>把 ETX 引入到 OLSR 的路由度量中,有助于在多跳无线网络的情况下找到高吞吐量路径。

在本文中,针对 FANET 环境下提出一种基于 OLSR 的路由协议,其本质上是一种通过优化链路选择以保障网络 QoS 的低开销路由协议。该协议通过减少 MPR 节点的个数,从而减少网络中的路由控制开销,并且为保障 MPR 集去冗余后的网络 QoS,在路由度量选择时考虑链路的时延以及丢包,从而维护链路的质量,降低 FANET 中链路中断的可能性。

## 1 无人机自组网 OLSR 协议存在的问题

无人机自组网存在节点速度移动过快、网络拓扑变化频繁的特点,直接使用 OLSR 协议容易造成链路中断,从而导致多跳链路通信失败的问题。OLSR 协议具体存在如下问题:

首先,OLSR 协议中 MPR 集的选取存在冗余。在 OLSR 协议中,由于只有被选作为 MPR 的节点才能转发控制消息,因此 MPR 集的选取将直接影响网络的性能。OLSR 协议中 MPR 集的选择使用贪心算法,从一跳邻居节点中选择,首先选取连接两跳孤立节点的节点,其次选取的节点是以节点的覆盖度作为准则,选择能覆盖更多的两跳节点,直到选出的 MPR 集覆盖完所有的两跳邻居为止<sup>[7]</sup>。如图 1 所示为无人机自组网的拓扑扁平化示意图。节点 1 为源节点,节点 2~5 为一跳邻居节点,节点 6~14 为两跳邻居节点。按照 OLSR 协议的 MPR 集选择算法可首先从一跳邻居中选择连接孤立两跳节点的节点 2 作为 MPR,其次按照覆盖度选择节点 4、3 和 5 作为 MPR,所以

源节点 1 的 MPR 集为 {2,4,3,5}。但是由于其 MPR 的选择为一跳邻居节点覆盖度最高的节点,所以得到的 MPR 集并不一定是最小的集合。

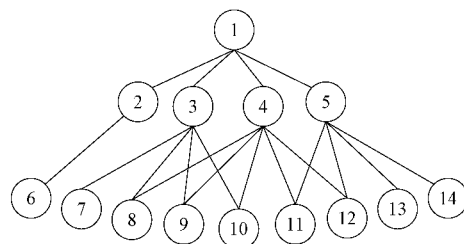


图 1 拓扑扁平化示意图

其次,使用 OLSR 协议的无人机网络节点在进行路由选择时并没有考虑网络的 QoS。OLSR 协议采用基于跳数的路由度量,其可以直观地描述链路的长短,减少节点数据包的转发次数以及节省数据包处理和转发的开销<sup>[15]</sup>。但是在 FANET 的环境下,基于跳数的路由度量无法反应出网络中链路的真实质量,所以 OLSR 可能会选择少跳数的低质量链路而不是多跳数的高质量链路,导致网络中的链路质量变差<sup>[16]</sup>。

## 2 改进协议的介绍

本文提出了一种基于 OLSR 的考虑链路质量的低路由开销协议 (considering link quality and low routing overhead protocol based on OLSR protocol, LQLR-OLSR),其流程如图 2 所示。该协议首先对 MPR 的选择机制进行优化,使整个网络的路由开销在一定程度上得到减少,带来更多的可用带宽;其次针对 FANET 场景,用修改后的 ETX<sup>[17]</sup>来代替跳数作为路由度量,提升网络的 QoS;最后让每个无人机节点在链路缓存中存储链路质量信息后运行最短路径 (Dijkstra) 算法<sup>[18]</sup>,以找到到达目的地的最短路由。

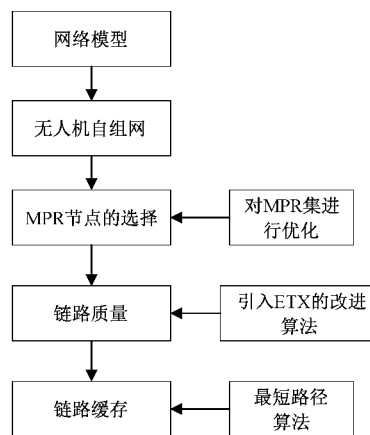


图 2 LQLR\_OLSR 协议流程

首先本文提出的协议对贪心策略<sup>[7]</sup>进行了修改,在保证 MPR 集覆盖全部两跳邻居节点的情况下,优化 MPR 集

使其达到最小集合。定义  $S$  为节点  $i$  的 MPR 集,  $M_1(i)$  为其一跳邻居节点的集合,  $M_2(i)$  为其两跳邻居节点的集合, 算法描述如下。

1) 定义节点  $i$  的 MPR 集  $S$  且初始化为  $M_1(i)$ , 然后把全部节点标记为未选定的节点。

2) 分别获取  $M_1(i)$  中所有的节点在  $M_2(i)$  中所能覆盖的节点个数。

3) 将  $S$  中标记为未选定且覆盖度最低的节点退出  $S$ 。

4) 判断此时在  $M_2(i)$  中是否存在未被  $S$  中节点所覆盖的两跳节点, 如果存在, 那么该节点不退出  $S$  并标记为已选定节点, 如果不存在, 则使该节点退出  $S$ 。

5) 判断  $S$  中是否还存在未选定的节点, 如果存在, 那么继续进行步骤 3), 如果不存在, 则算法结束。

如图 1 所示, 按照上述步骤, 当进行到步骤 3) 时会选择节点 2 作为 MPR; 进行到步骤 4) 和 5) 后, 又依次选择节点 3 和 5 作为 MPR。所以最终源节点的 MPR 集为 {2, 3, 5}, 减少了 MPR 的个数。改进 MPR 算法的流程如图 3 所示。

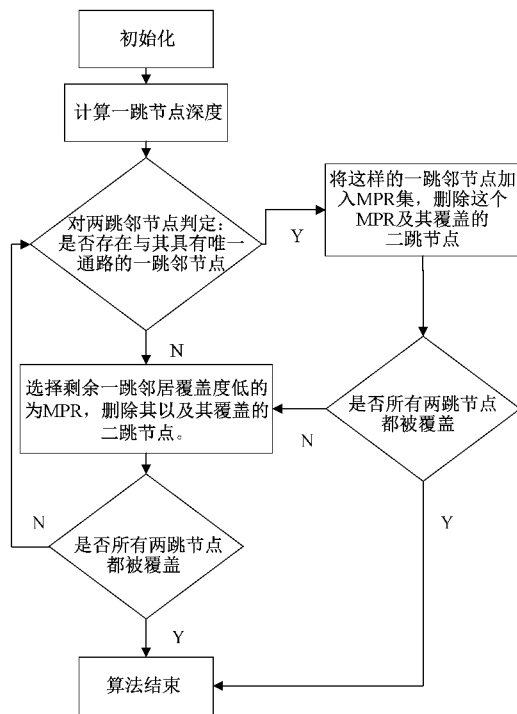


图 3 改进 MPR 算法的流程

其次, 本文用修改后的 ETX 代替跳数作为路由度量。将 ETX 定义为:

$$ETX = \frac{1}{d_f \times d_r} \quad (1)$$

式中:  $d_f$  是发送方正确传输数据到接收方的概率, 即正向传输成功率;  $d_r$  是接收方正确传输数据到发送方的概率, 即反向传输成功率。通过节点广播探测包来计算  $d_f$  和  $d_r$ , 每个探测包嵌入了自身及其邻居节点所接收的探测包数。依据自身节点发送的探测包数和邻居节点成功接收的

探测包数, 计算出单方向数据包传输成功率, 用  $r(t)$  表示:

$$r(t) = \frac{x}{count(A)} \quad (2)$$

式中:  $x$  为邻居节点接收到的数据包数, 而  $count(A)$  为节点  $A$  所传输的数据包数。然而 ETX 仅考虑了数据包的传输成功率, 所以针对 FANET 环境下, 本文对 ETX 进行修改, 通过将 ETX 乘以数据包大小再除以链路容量来估计在链路上发送数据包所需的时间, 由此可在拓扑变化频繁的情况下, 找到高吞吐量、低时延的链路进行传输。

$$ETX' = \frac{1}{d_f \times d_r} \times \frac{S}{B} \quad (3)$$

式中:  $ETX'$  为修改后的 ETX,  $S$  表示链路中分组的大小,  $B$  表示链路的带宽。为了计算带宽, 节点首先发送探测包, 在邻居节点接收到探测数据包后, 计算出两个数据包的接收时间间隔, 然后将其反馈给发送节点, 所以带宽表示为:

$$B = S_L / \min_{1 \leq i \leq n} d_i \quad (4)$$

式中:  $S_L$  为最大的探测分组数据;  $d_i$  为接收时间间隔。

### 3 仿真实验

本文所提出的协议将与 OLSR 协议和文献[9]中的 Global\_OP\_OLSR 协议进行比较, 通过仿真实验对比分析它们在端到端时延、发包成功率、路由开销以及吞吐量这些网络性能指标上的差异。

#### 3.1 仿真参数设置

为了符合实际, 借助 Windows10 平台上的 OPENT Modeler 14.5 仿真软件, 通过在相同面积的场地中部署无人机, 来测试节点在不同移动速度情况下, OLSR 协议、Global\_OP\_OLSR 协议以及本文提出的 LQLR\_OLSR 协议的性能表现。移动模型采用随机路点 (Random Waypoint) 模型, 主要用于 FANET 在搜索或者勘探等方面的任务中。设置 5 个仿真场景, 每个场景中节点最大移动速度分别为 10、15、20、25 以及 30 m/s。每个实验做 5 次并取平均值, 以减小仿真实验因随机因素带来的误差。主要仿真参数设置如表 1 所示。

表 1 主要仿真参数设置

参数	数值
仿真区域	1 500 m × 1 500 m
节点数量	40
节点最大移动速度/(m·s <sup>-1</sup> )	(10, 15, 20, 25, 30)
数据包链路层/g	802.11
发送包大小/B	1 024
仿真时间/s	500
移动模型	Random Waypoint
仿真随机 seed 值	(100, 125, 150, 175, 200)

### 3.2 仿真结果分析

#### 1) 端到端时延分析

端到端延迟是数据包在网络中传输的平均时间,是从发送方生成数据包到目的地接收数据包的时间,其包括网络中的所有延迟,如缓冲队列、传输时间以及由路由活动和媒体访问控制交换引起的延迟。端到端延迟衡量路由协议适应网络中各种约束的程度,代表路由协议的可靠性,如式(5)所示。

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_r - T_s) \quad (5)$$

式中:  $N$  表示数据分组总量,  $T_s$  表示数据分组发送时刻,  $T_r$  表示数据分组成功接收时刻。

图 4 表明, LQLR\_OLSR 协议在端到端时延方面较 OLSR 和 Global\_OP\_OLSR 协议有着明显改善,与文献[9]中的 Global\_OP\_OLSR 算法相比较平均降低了 13.46%,与标准 OLSR 相比较平均降低了 60.69%。随着节点移动速度的增大,端到端时延增大。原因在于在 FANET 中,随着节点移动速度的增大,网络拓扑变动会更加频繁,多跳链路中断的概率会增大,导致路由重建,使端到端时延增大。Global\_OP\_OLSR 算法仅减少了全局 MPR 集的个数,而 LQLR\_OLSR 协议不仅通过去除 MPR 集冗余减少了控制开销,减轻了信道负载,减小了数据包传输时延,而且选择数据包传输时延低的路径,降低了总时延。

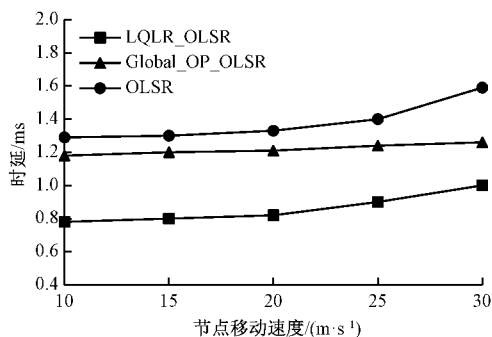


图 4 端到端时延对比

#### 2) 发包成功率分析

发包成功率是目的地接收的数据包数与发送方发送的数据包数之间的比率,如式(6)所示,其表征了路由协议的正确性和效率,代表网络可以达到的最大吞吐量。

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{\sum_{j=1}^n S_j} \quad (6)$$

式中:  $\varphi$  表示数据包的传输成功率,  $R_i$  表示第  $i$  个节点成功接收的数据分组数量,  $m$  表示接收数据节点个数,  $S_j$  表示第  $j$  个节点产生的数据分组数,  $n$  表示产生数据分组的节点数。

图 5 表明,改进后的 LQLR\_OLSR 协议有着更高的发

包成功率,与文献[9]中的 Global\_OP\_OLSR 算法相比较平均提升了 3.68%,与标准 OLSR 相比较平均提升了 9.63%。同样地,随着节点移动速度增大,FANET 中链路的中断的可能性增加,导致数据包传输成功率性能下降,所以网络的数据包传输成功率下降。Global\_OP\_OLSR 算法仅减少了全局 MPR 集的个数,可能导致节点选出来的路径不是链路质量最好的,导致发包成功率下降。而 LQLR\_OLSR 协议考虑了节点的发包成功率,使其有更多稳定路径的选择。

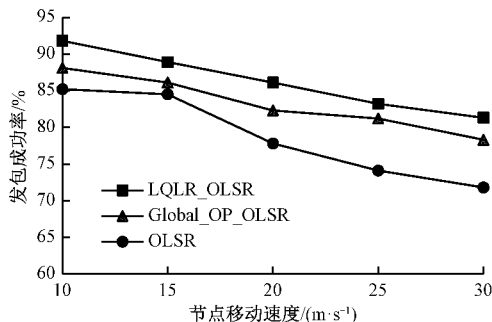


图 5 发包成功率对比

#### 3) 路由控制开销分析

在 OLSR 协议中,控制开销指的是网络中节点发送的路由控制消息的总和,其中包含了 HELLO 消息、TC 消息以及 TC 的转发消息。它是衡量协议有效性的一个重要指标。

图 6 表明, LQLR\_OLSR 协议在路由控制开销方面与文献[9]中的 Global\_OP\_OLSR 算法相比较平均降低了 78.84%,与标准 OLSR 相比较平均降低了 158.86%,这表明使用 LQLR\_OLSR 协议将有足够的带宽用于数据包传输。路由控制开销会随着节点移动速度的增大而增大,因为在 FANET 中节点移动速度增大会带来路由的失效和重建。而本文不仅通过去除 MPR 集冗余,减少了 TC 包从而减少路由控制开销,而且考虑了网络的 QoS,使路由的重建的可能性降低,从而减小路由控制开销。

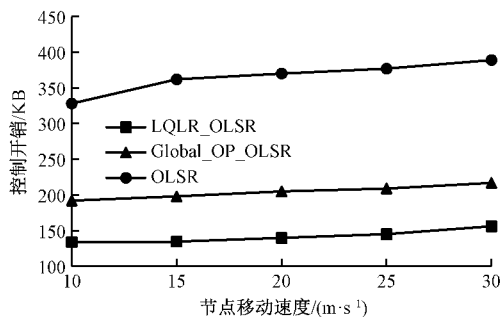


图 6 控制开销对比

#### 4) 吞吐量分析

目的节点在单位时间内接收到的数据量称为吞吐量。影响吞吐量的因素包括频繁的拓扑变化、不可靠的通信、有

限的带宽和有限的能量。吞吐量计算公式如式(7)所示。

$$H = \frac{\sum_i h_i}{T_a} \quad (7)$$

式中:  $T_a$  表示总的通信时间;  $h_i$  表示目的节点接收到的数据分组总量。

图 7 表明,改进后的 LQLR\_OLSR 协议有着更高的吞吐量。与文献[9]中的 Global\_OP\_OLSR 算法相比较平均降低了 7.85%,与标准 OLSR 相比较平均提升了 11.59%。其中,吞吐量随节点速度的增大而增大,因为在 FANET 中随着节点速度增大的时,数据包丢失概率会增大,所以吞吐量也明显下降。而本文所提出的协议考虑了节点的发包成功率,所以其吞吐量更高。

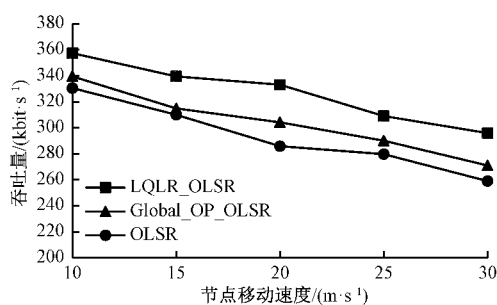


图 7 吞吐量对比

## 4 结 论

本文针对无人机自组网中高速移动节点带来的网络拓扑变化频繁的特点,导致链路中断概率增大的问题,提出了一种面向 FANET 的改进 OLSR 协议。该协议首先对 MPR 选择准则进行修改,减小网络的路由开销;其次在路由度量选择时考虑链路的时延以及丢包参数,以提高 MPR 集去冗余后无人机自组网中的 QoS,降低 FANET 中链路中断的可能性。在无人机自组网的环境下,将提出的路由方案与 Global\_OP\_OLSR 协议和 OLSR 协议进行比较。通过仿真分析发现,LQLR\_OLSR 能够在端到端时延、发包成功率、路由开销以及吞吐量这些方面比 Global\_OP\_OLSR 协议和 OLSR 协议表现得更好。下一步工作将使用不同的移动模型来评估所提出的路由协议是否同样适用。

## 参考文献

- [1] BEKMEZCI I, SAHINGOZ O K, TEMEL S. Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey[J]. Ad Hoc Networks, 2013, 11(3):1254-1270.
- [2] SUMRA I, SELLAPPAN P, ABDULLAH A, et al. Security issues and challenges in MANET-VANET-FANET: A survey[J]. EAI Endorsed Transactions on Energy Web, 2018, 5(17):155884.
- [3] SAHINGOZ O K. Networking models in flying ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges[J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2014, 74(1): 513-527.
- [4] 徐婷婷. 面向任务的无人机编队组网技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2020.
- [5] REDDY T S, DEVSEKHAR V, RAVI A. A study of dynamic routing protocols in mobile adhoc networks[J]. Journal of Innovation in Computer Science and Engineering, 2015, 5(1): 23-27.
- [6] CLAUSEN T H, JACQUET P. Optimized link state routing protocol(OLSR)[J]. The Internet Engineering Task Force, MANET Working Group,2003.
- [7] 范祥瑞,林金永,张烁. 飞行自组网路由协议的仿真与分析[J]. 信息通信, 2018(2):105-108.
- [8] KADADHA M, OTROK H, BARADA H, et al. A street-centric QoS-OLSR protocol for urban vehicular ad hoc networks[C]. Wireless Communications & Mobile Computing Conference, IEEE, 2017: 1477-1482.
- [9] 刘杰,王玲,王杉,等. 基于 OLSR 协议的最小 MPR 集选择算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(2):305-308.
- [10] MACCARI L, MAISCHBERGER M, CIGNO R L. Where have all the MPRs gone? On the optimal selection of multi-point relays[J]. Ad Hoc Networks, 2018, 77: 69-83.
- [11] KUMAR P, VERMA S. Implementation of modified OLSR protocol in AANETs for UDP and TCP environment[J]. Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 2019, DOI: 10.1016/j.jksuci.2019.07.009.
- [12] OYAKHIRE O, GYODA K. Improved proactive routing protocol considering node density using game theory in dense networks[J]. Future Internet, 2020, 12(3):47.
- [13] 王昊天. 基于 ETX 度量的无线多跳网络路由研究与优化[D]. 大连:大连理工大学,2015.
- [14] JAIN R, KASHYAP I. An QoS aware link defined OLSR (LD-OLSR) Routing Protocol for MANETS[J]. Wireless Personal Communications, 2019(6):1-14.
- [15] 孙浩源. 基于 Ad hoc 网络路由策略的研究与仿真[D]. 厦门:厦门大学,2017.
- [16] 陈赞,蒋念平. 基于无线 Mesh 网络的路由协议研究[J]. 电子测量技术, 2017, 40(5):143-147.
- [17] DE COUTO D S J, AGUAYO D. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing[J]. Proc Mobicom, 2003:134.
- [18] 叶颖诗,魏福义,蔡贤贤. 基于并行计算的快速 Dijkstra 算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(6):58-65.

## 作者简介

吴梦,硕士研究生,主要研究方向为无人机自组网协议。

E-mail:952733856@qq.com

赵一帆,讲师,硕士生导师,博士,主要研究方向为随机多址通信系统、无人机自组网。

E-mail:wnamil123@163.com