

基于节点静默-激活机制的优化链路 状态路由研究

黄铨源,王睿*,郭一平,胡谷雨

(中国人民解放军陆军工程大学 指挥与控制工程学院,江苏 南京 210007)

摘要:优化链路状态路由协议(OLSR)是移动自组织网络(MANET)中使用十分广泛的路由技术,在网络中会通过定期地交互 HELLO 消息以获取节点邻居状态并感知与邻居之间的链路情况。针对 OLSR 在易受干扰的战场信息网络中应用时,会使得节点在传输资源有限的情况下持续发送大量冗余 HELLO 信息,导致路由开销增大的问题,提出了一种基于节点静默-激活机制的优化链路状态路由(SA-OLSR)协议。该协议分为 HELLO 信息接收和发送两个模块,通过对节点最近一次接收到的 HELLO 包时间分析,感知当前节点所处的网络环境状况,判断节点是否需要进入静默状态,从而改变 HELLO 包的发送时间间隔,优化 HELLO 信息的发送频率。该文使用 OPNET 搭建仿真平台,模拟出网络环境中遭受到干扰的情况,对 SA-OLSR,OLSR 以及现阶段 MANET 中常用的 AODV 协议进行了对比分析。仿真结果表明,相比于传统的 OLSR,SA-OLSR 能够降低干扰网络中近 10% 的 HELLO 包控制开销、减小网络中出现长时期拥塞的概率;与 AODV 协议相比,SA-OLSR 的平均时延较低,且时延波动比较稳定。同时能大大增加网络的吞吐量。

关键词:OLSR;邻居监听算法;战场信息网络;MANET;HELLO 消息

中图分类号:TP181

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2024)02-0084-06

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2024.02.013

Research on Optimized Link State Routing Based on Node Silent-active Mechanism

HUANG Xin-yuan, WANG Rui*, GUO Yi-ping, HU Gu-yu

(School of Command and Control Engineering, Army Engineering University of PLA, Nanjing 210007, China)

Abstract: The Optimized Link State Routing (OLSR) is a widely used routing technique in Mobile Ad Hoc Networks (MANET), where HELLO messages are exchanged regularly to obtain node neighbor status and perceive link conditions with neighbors. A novel optimized link state routing (SA-OLSR) based on node silence activation mechanism is proposed to address the issue of OLSR being applied in battlefield information networks that are prone to interference, causing nodes to continuously send a large amount of redundant HELLO information with limited transmission resources, resulting in increased routing overhead. This protocol is divided into two modules: HELLO information receiving and sending. By analyzing the time of the last HELLO packet received by the node, it perceives the current network environment conditions of the node, determines whether the node needs to enter a silent state, and changes the sending time interval of HELLO packets to optimize the sending frequency of HELLO information. We use OPNET to establish a simulation platform to simulate interference in the network environment, and compare and analyze SA-OLSR, OLSR, and AODV commonly used in MANET at present. The simulation results show that compared to traditional OLSR, SA-OLSR can reduce nearly 10% of HELLO packet control overhead in interference networks and reduce the probability of long-term congestion in the network; compared with AODV, SA-OLSR has a lower average latency and relatively stable latency fluctuations. At the same time, it can greatly increase the throughput of the network.

Key words: OLSR; neighbor monitoring algorithm; battlefield information network; MANET; HELLO message

0 引言

移动无线自组织网络 MANET (Mobile Ad Hoc Network) 是一种通过无线链路将移动设备进行连接的自组网技术^[1],不需要像传统网络那样依靠固定的网

络基础设施实现网络接入,节点之间直接通过无线链路进行互联,且每个网络节点既可以作为端节点,也可以作为路由器等转发设备进行数据传递,节点可以很轻松自由地接入网络或离开网络^[2],充分利用了无线

收稿日期:2023-03-19

修回日期:2023-07-20

作者简介:黄铨源(1996-),男,硕士研究生,研究方向为网络仿真;通信作者:王睿(1978-),男,副教授,研究方向为网络分布式计算、大数据;胡谷雨(1964-),男,教授,博导,研究方向为计算机网络、卫星网络运维、智能网络管理。

环境中的电磁频谱资源作为通信链路。同时,随着MANET结构的逐步完善,无线通信等赋能技术稳定性的提高,以及路由协议安全性的增加,MANET网络在军事、救灾等领域也得到了大量的应用^[3]。MANET网络环境中的路由算法通常分为两种,即基于矢量优先的路由算法和基于路径优先的路由算法,两类算法都需要定期发送数据包用于节点构建网络拓扑信息,从而进行路由选择。

军事环境中MANET网络通常是利用背负式、车载式、机载式等搭载式的军用数字无线电台作为网络设备,通信手段也主要是依靠电台之间的无线电传输^[4],但移动通信中所使用的无线电信号安全度不高,十分容易被敌方进行有针对性的电子侦察,捕获军队经常使用的通信频率,针对这些通信频段,实施不同程度的电子干扰,以至于战场信息网络中的无线链路出现传输速率降低、误码率升高、丢包率上升等链路质量下降的问题。

在遭受干扰状况的环境中,无论MANET节点使用哪种路由算法,网络链路都会因传输能力下降导致丢包率升高,同时由于网络结构中丢包重传的原因,当节点发送的数据包因响应超时或网络环境较差出现丢包时,会将丢失的数据包进行重发,使得网络环境中充斥着大量的重发数据,造成本就堵塞的战场信息网络的效率更加低下,严重时甚至会导致出现网络崩溃的情况。因此,可通过对网络路由协议的优化,减少不必要的路由信息交互、降低重发概率,在干扰环境中尽量提高战场信息网络对战场中的紧急指令、有效报文等数据的传输成功率,尽可能地加强遭敌干扰下的战场信息网络的数据传输能力。

文献[5]对MANET中常见的AODV, DSR, OLSR, GPR四种路由协议进行了对比分析,通过对四种路由在相同场景下的端到端时延和吞吐量进行比较,得出OLSR路由协议综合性能更高的结论。该文在被敌干扰的战场网络场景下对传统的OLSR协议进行了研究,通过对OLSR协议的分析,针对OLSR协议中邻居监听时HELLO包发送过量冗余的问题,提出了一种基于节点静默-激活机制的优化链路状态路由(SA-OLSR)协议,通过节点对HELLO消息接受的感知,估测当前所处的网络环境状态,降低HELLO包的发送间隔。

1 OLSR 概述及相关研究

优化链路状态(Optimized Link State Routing, OLSR)协议是一种主动式的路由协议,通过降低控制类型数据包的大小和减少用于转发链路状态的数据包数量来实现对纯链路状态路由协议的优化^[6-7]。

OLSR主要分为三个阶段:邻居感知阶段、TC消息交互阶段、路由选择阶段。

在邻居感知阶段,网络中的每个节点会定期向周围节点发送HELLO消息,HELLO消息报文结构如图1所示。第一部分为HELLO消息的头部,前两个字节为保留字段,设置为全0;第三个字节为HELLO消息的生命周期,第四字节表示节点愿意被选为MPR节点的程度。HELLO消息的第二部分为链路信息的首部,第一字节指定了链路发送接口和邻居接口列表;第二字节为保留字段;三四字节标识了链路信息的大小。第三部分为邻居接口信息,依次列出了每个邻居节点的接口地址信息。通过定期的HELLO消息交互,每个节点都可以得到本节点与一跳邻居、二跳邻居之间的链路状况,从而构建出自己的一跳邻居表和二跳邻居表,再通过MPR选择算法选出对应的MPR集,构建出一张MPR表。

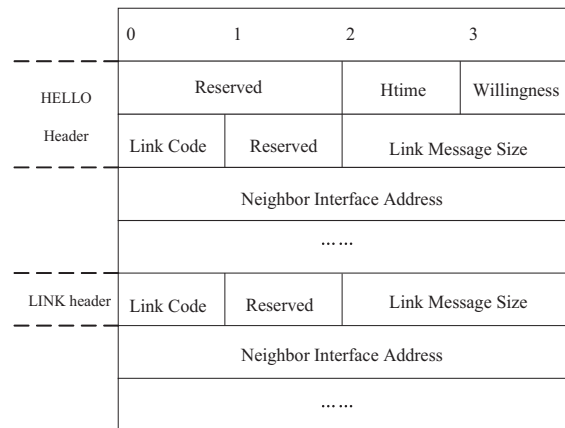


图1 HELLO消息包格式

在TC消息交互阶段,基于前一阶段所构建出的MPR表,网络中的MPR节点会定期地将TC消息进行洪泛,而MPR节点收到后也都会再将其转发。TC消息报文结构如图2所示。

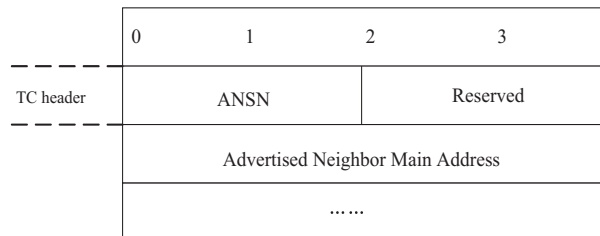


图2 TC消息包格式

第一部分为TC信息的头部字段,一二字节数为ANSN(Advertised Neighbor Sequence Number,广播邻居序列号),用于表示TC消息的新旧程度,三四字节为保留字段。第二部分为广播邻居主地址,依次列出了源节点的所有邻居节点的地址。而在TC消息内的邻居节点,都会将该TC消息进行转发,因此通过TC消息交互,网络中的所有节点都能够快速感知全网的

网络结构,从而构建出全网的拓扑表。

在路由选择阶段,通过 TC 消息的交互,节点构建出网络拓扑表后,便可利用最短路径优先算法寻找出各个目的节点的路径信息,构建出路由表。

针对 OLSR 协议路由开销过大的问题,文献[8]提出了一种 C-OLSR(集群 OLSR)协议,通过将网络分群的策略,将控制信息的转发限制在了集群内部,集群间的通信则采用改进的转发策略,有效减小了 TC 信息的全网洪泛,降低了路由开销。文献[9]基于一种利用无速率编码的地理广播路由方案,将传递信息的策略和数据交换的方式进行了改进,提出了一种利用表驱动的 OLSR 协议将消息传递到目标区域,通过实验仿真结果显示,该方案在降低路由开销成本的同时还提高了分组的发送成功率。文献[10]基于节点的移动策略与 OLSR 性能的关系进行了分析,通过在多个网络场景下,控制节点的移动速度不同以及移动方式不同进行实验对比,分析了路由的发包率、端到端时延和路由控制开销等性能的差异。考虑到无线自组网中节点的能量寿命的问题,文献[11]对 OLSR 协议的多点中继选择过程进行了改进,通过将选取为 MPR 集的 willings 和 TC 消息的发送间隔进行调整,有效地提高了网络节点的工作寿命,节约了节点能量,并且依然保证了 OLSR 的 QoS 质量。针对链路故障拓扑结构频繁变化导致丢包,从而造成网络堵塞的问题,文献[12]提出了一种低延迟最优链路状态路由(LL-OLSR)方案,通过对已经建立的路径的监测,在链路网络堵塞的情况下,采用最小的成本将源节点和目的节点相连接,最大化地提高了数据传输效率。文献[13]进行了去中心化研究,通过将节点位置进行分区,避免在相同区域内的数据频繁传输,有效降低了 TC 消息的转发数量,降低了路由开销。

2 问题描述及改进分析

2.1 问题描述

OLSR 协议利用节点之间定期进行的 HELLO 消息交互获取自己与邻居节点之间的链路状态,同时感知自己与二跳邻居节点的链路状况。如图3所示,当战场环境中出现干扰时,假设干扰范围对战场网络中的6号节点、7号节点、8号节点之间的通信链路产生了影响,三个节点所组成的局部网络中通信环境的链路质量严重下降,链路上的丢包率急剧升高,导致三个节点之间交互的数据包都难以成功接受。而此时按照 HELLO 消息的交互机制,遭受干扰的节点仍然会持续地定期发送这类交互报文,受到干扰的局部网络环境也因此会出现大量被重发和无法成功接受的 HELLO 信息,使得一些需要在战场上进行紧急传输的数据无

法成功投递,严重影响了战场环境中的部队指挥官对分队的指挥决策能力。

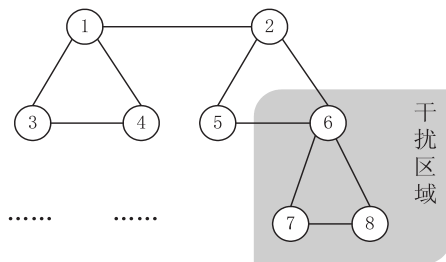


图3 干扰环境示意图

2.2 改进措施

针对在链路质量较为糟糕的情况下,OLSR 路由在进行邻居监听时仍然会持续发送大量 HELLO 信息的问题,该文提出了一种基于节点的静默-激活机制,对 OLSR 的邻居监听算法进行改进,减少 MANET 节点进行大量冗余 HELLO 信息的发送。

改进后的 SA-OLSR 算法的 HELLO 接受流程如图4所示。在每次接受到 HELLO 包后会记录当前的时间,然后再对数据包进行处理解析。

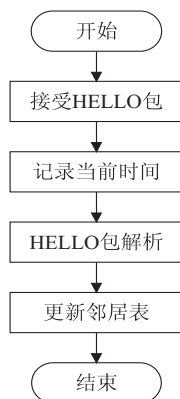


图4 HELLO 信息接受流程

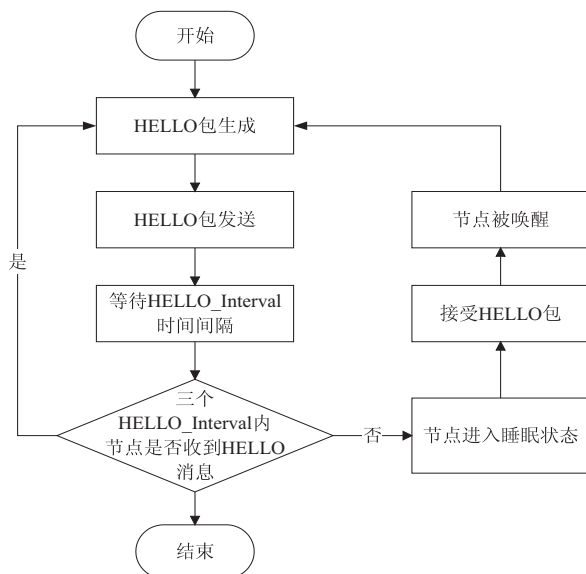


图5 HELLO 信息发送流程

发送流程如图5所示。当节点在3个 HELLO 消

息的发送时钟周期内未能收到来自其他节点的 HELLO 报文,则该节点会进入静默状态,进入静默状态后,节点不再主动发送用于交互的 HELLO 信息,但节点内部会继续进行其余的工作,只有当收到来自其他节点的 HELLO 消息后,静默节点才会被激活,重新开始主动地去进行 HELLO 信息交互。该算法主要是通过降低在干扰状况下 MANET 节点主动发送 HELLO 消息的频次,减少网络中控制包的数量,降低控制信息的开销,提升网络中对有效信息传输的比率。

2.3 理论分析

在自组织网络中,影响网络性能指标的因素主要有网络中节点的总数、节点的发包速率、包的大小、节点的移动速度等^[14]。在 OLSR 协议中,其邻居监听算法的路由开销主要与 HELLO 包的发送频率、包的大小、包的总量相关,相关参数定义如表 1 所示。

表 1 网络性能分析参数

参数	含义
N	网络中节点的数量
$N_{\text{interference}}$	被干扰的节点数量
T_{hello}	HELLO 消息的发送时间间隔
$T_{\text{hello-interference}}$	干扰状态下 HELLO 消息的发送时间间隔
t_{all}	网络持续时间
$t_{\text{interference}}$	干扰的时间
$P_{\text{hello-all}}$	全网生成的 HELLO 包数量
$P_{\text{hello-interference}}$	被干扰网络中生成的 HELLO 包数量
$P_{\text{hello-lost}}$	HELLO 包的丢包数量
PDR	干扰下的丢包率

在自组织网络中,单位时间内,全网所产生的 HELLO 包数量为:

$$P_{\text{hello}} = N \times \frac{1}{T_{\text{hello}}} \quad (1)$$

在无干扰状况下的网络持续时间内,全网所生成的 HELLO 包数量为:

$$P_{\text{hello-all}} = t_{\text{all}} \times P_{\text{hello}} = t_{\text{all}} \times \frac{N}{T_{\text{hello}}} \quad (2)$$

同理可知,在存在干扰的状况下,被干扰的局部网络所生成的 HELLO 包数量为:

$$P_{\text{hello-interference}} = t_{\text{interference}} \times \frac{N_{\text{interference}}}{T_{\text{hello-interference}}} \quad (3)$$

干扰时间段内 HELLO 包的丢包数量为:

$$P_{\text{hello-lost}} = \text{PDR} \times \frac{t_{\text{interference}} * N_{\text{interference}}}{T_{\text{hello-interference}}} \quad (4)$$

在整个网络持续时间内,有效传输的 HELLO 包所占的比率为:

$$\gamma = \frac{P_{\text{hello-all}} - P_{\text{hello-lost}}}{P_{\text{hello-all}}} = 1 - \frac{\text{PDR} \times \frac{t_{\text{interference}} * N_{\text{interference}}}{T_{\text{hello-interference}}}}{t_{\text{all}} \times \frac{N}{T_{\text{hello}}}} = 1 - \frac{\text{PDR} \times \frac{t_{\text{interference}} * N_{\text{interference}}}{N * t_{\text{all}}}}{\frac{T_{\text{hello}}}{T_{\text{hello-interference}}}} \quad (5)$$

由式 5 可知,只需要提高在干扰状况下的 HELLO 包发送时间间隔,即可有效增加在网络中 HELLO 信息的有效传输率。而 SA-OLSR 方式在干扰时明显降低了传输频率,增加了传输间隔,因此降低了 HELLO 包的控制开销。

3 实验验证及结果分析

仿真中,以 SA-OLSR,OLSR,AODV 在同一网络场景下进行对比,选取 HELLO 信息的发包量、网络平均时延网络拥塞的累积分布概率作为指标比较了 SA-OLSR 和 OLSR 的差异,验证了 SA-OLSR 的有效性。使用网络平均时延、网络吞吐量两个指标,比较了 SA-OLSR,OLSR 和 AODV 之间的区别,验证了 SA-OLSR 的先进性和可靠性。

3.1 仿真场景设置

基于 Windows 平台利用 OPNET^[15] 仿真工具对传统的 OLSR 以及 SA-OLSR 进行模拟,同时与现阶段在 MANET 网络中常使用的 AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing) 协议在时延和吞吐量参数上进行了比较。仿真场景设置在 3 km×3 km 的区域内,分别将 20 个 MANET 节点进行均匀排列,节点移动速度为 10~30 m/s,节点最大通信距离为 600 m,仿真持续时间为 30 分钟,设置场景在 200 s~500 s 时间段,网络中出现干扰,导致其中共 5 个节点组成的局部网络中的通信效率降低。仿真参数设置如表 2 所示。

表 2 仿真参数设置

参数名	大小
节点数量	20
节点移动速度/(m/s)	10,20,30
场景大小/km ²	3×3
传输速率/bps	2 048
发包大小/Byte	1 024
信道容量/MHz	22
移动模型	Random Waypoint
最大通信距离/m	600
MAC 层协议	IEEE802.11g
仿真时间/min	30

3.2 仿真结果分析

3.2.1 HELLO 包数量

OLSR 与 SA-OLSR 的 HELLO 包发送数量比较如图 6 所示。由于 SA-OLSR 减小了 HELLO 包的发送间隔,在网络开始阶段以及出现干扰阶段,SA-OLSR 的 HELLO 数据发送量明显比 OLSR 的低,在干扰消失,网络性能逐渐恢复后,两种协议的发包数量渐渐达到一致。在干扰状况下 SA-OLSR 的 HELLO 包发送数量比 OLSR 的降低了 10% 左右。

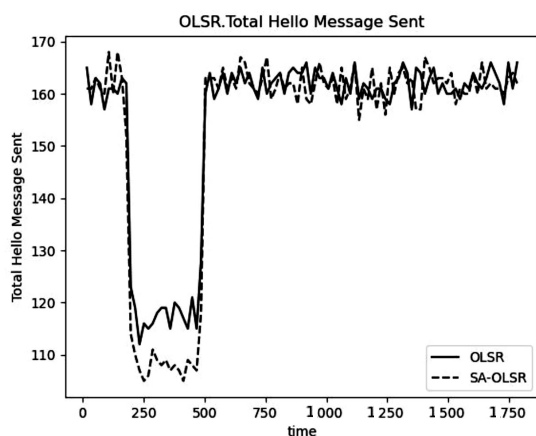


图 6 HELLO 包数量比较

3.2.2 网络拥塞的 CDF

从图 7 中可知,与 OLSR 相比,虽然 SA-OLSR 造成网络中出现较短拥塞时间的概率更大,但是其能够有效避免网络中出现长期的拥塞持续时间。因此在进行长时间网络运行时,SA-OLSR 的效率更高,有效避免了网络中较长时间的持续拥塞事件的出现。

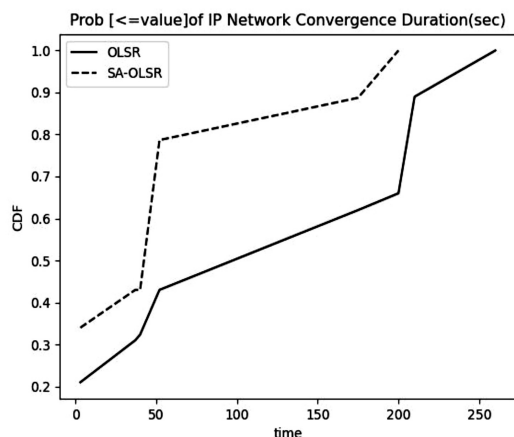


图 7 网络拥塞时长 CDF

3.2.3 时延

从图 8 中可知,三种路由协议中,AODV 的平均时延最大,且在网络状态不稳定时,时延情况会出现较大幅度的突变。SA-OLSR 与 OLSR 的时延都能始终保持在相对较低的水平上。但是与 OLSR 相比,SA-OLSR 的平均时延有一定的增加趋势,这是由于拓扑

不断变化,控制信息发送量的减少,使得节点在变化时对邻居状态的监听不够及时导致的,但平均时延都相对较低。

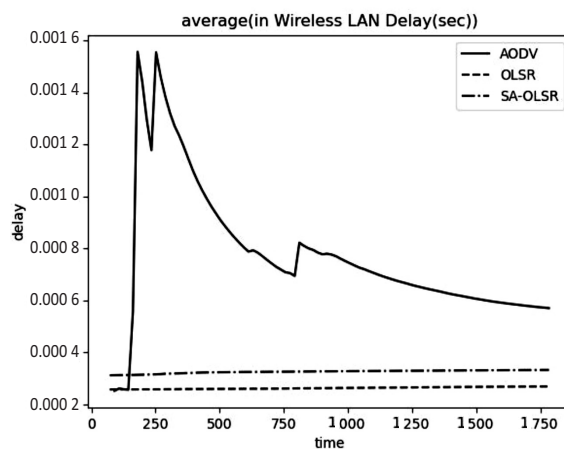


图 8 时延对比

3.2.4 吞吐量

从图 9 中可以看出,随着仿真时间的增加,三种路由协议中,SA-OLSR 的吞吐量明显最高,OLSR 的吞吐量次之,AODV 的吞吐量最低。随着网络拓扑随时间的变化,SA-OLSR 比 AODV 的吞吐量提高了约 0.12 Mbit/s,且该提高量会逐渐增加。因此,在无线信道容量不变的情况下,SA-OLSR 能够提供更好的网络性能保障。

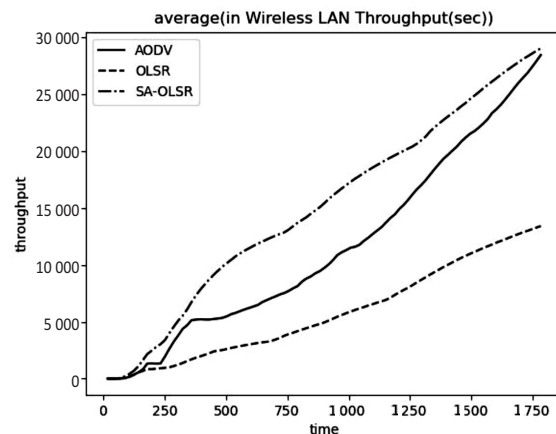


图 9 吞吐量对比

4 结束语

通过对 OLSR 协议邻居监听算法的分析,提出了一种基于节点 SA(静默-激活)机制的邻居监听算法。该算法通过节点对最近一次接受到 HELLO 消息时间的检测,能够判断自己是否处在被干扰环境中,从而决定自己是否需要进入静默状态,增加了在干扰环境下节点发送 HELLO 包的时间间隔,降低了发送频率。通过实验分析,相比于传统的 OLSR,SA-OLSR 能够有效减少 MANET 节点进行邻居监听时的 HELLO 包

开销,同时降低网络中出现长时间拥塞的概率。与 AODV 相比,SA-OLSR 和 OLSR 都能够在保持更低且更加稳定的端到端时延的情况下,提高网络吞吐量,从而提升网络性能。下一步将对 OLSR 的 MPR 选择算法和 TC 洪泛机制进行研究,综合提高 OLSR 在战场环境下的性能。

参考文献:

- [1] WU C, KUMEKAWA K, KATO T. A MANET protocol considering link stability and bandwidth efficiency[C]//International conference on ultra modern telecommunications & workshops. St. Petersburg;IEEE,2009;1-8.
- [2] GUPTA A, SADAWARTI H, VERMA A. Review of various routing protocols for MANETs[J]. International Journal of Information and Electronics Engineering,2011,1;251-259.
- [3] RAMPHULL D. A review of mobile ad hoc NETWORK (MANET) protocols and their Applications[C]//International conference on intelligent computing and control systems (ICICCS). Madurai;IEEE,2021;204-211.
- [4] 牛 钊. 战术 MANET 监测与分析关键技术研究[D]. 长沙:国防科技大学,2021.
- [5] RIVOIRARD L. Performance evaluation of AODV, DSR, GRP and OLSR for VANET with real-world trajectories [C]//International conference on ITS telecommunications (ITST). Warsaw;IEEE,2017;1-7.
- [6] LOUTFI A, ELKOUTBI M. Enhancing performance OLSR in MANET [C]//International conference on multimedia computing and systems. Tangiers;IEEE,2012;505-509.
- [7] 任 智,周 舟,吴本源. 优化链路状态路由协议的低开销拓扑维护算法[J]. 计算机工程,2021,47(9):120-127.
- [8] ROS F J, RUIZ P M. Cluster-based OLSR extensions to reduce control overhead in mobile ad hoc networks[C]//International conference on wireless communications and mobile computing. Honolulu;ACM,2007;202-207.
- [9] KACHOOEI M A. An OLSR-based geocast routing protocol for vehicular ad hoc networks[J]. Peer-to-Peer Networking and Applications,2022,15(1):246-266.
- [10] NURWARSITO H, PUTRA E S J J. Analysis of OLSR routing protocol performance based on gauss-markov mobility and random walk in mobile ad-hoc network (MANET) [J]. Journal of Information Technology and Computer Science,2023(3):183-195.
- [11] IBRAHIM M, SHANMUGARAJA P, RAJ A. Energy-efficient OLSR routing protocol for flying ad hoc networks[J]. Advances in Information Communication Technology and Computing,2022,392;75-88.
- [12] SUMA S, HARSOOR B. An optimized routing scheme for congestion avoidance using mobile nodes in wireless sensor network[J]. Measurement;Sensors,2022(24):457-461.
- [13] SOUIDI M, et al. Geographic forwarding rules to reduce broadcast redundancy in mobile ad hoc wireless networks [J]. Personal and Ubiquitous Computing,2018(23):765-775.
- [14] BOUKERCHE A. Routing protocols in ad hoc networks: a survey[J]. Computer Networks,2011,55(13):3032-3080.
- [15] 高 越. 基于 OPNET 的 Ad Hoc 网络分布式仿真技术研究 [D]. 北京:北京理工大学,2015.