

摘 要

本论文所反映研究工作的背景是四川省网络通信技术重点实验室与××研究院的合作预研项目：“无人机战术网”（UAS-TN – Unmanned Aircraft System Tactic Network）。由于该网络的节点工作于敌对的空间，通信条件恶劣；因此，有必要重新审视传统的自组网络的体系结构和相关路由技术，所以，本项目的研究重点是以自组网络中使用最广的路径信息交换协议和路径选择算法为对象，针对 UAS-TN 的需要进行适应性的改进。在本项研究中，笔者以自组网络中先应式路由协议的代表——OLSR（Optimized Link State Routing 最优化链路状态）路由协议为对象，对该协议的性能进行了分析和仿真实验；根据实验结果进一步探讨了对该协议的改进方案。笔者具体的研究工作和贡献包括：

- 由于节点的高速移动性，现有的 OLSR（Optimized Link State Routing）路由协议在选取 MPR（Multipoint Relay 多点中继）集时没有考虑到一定的冗余，这样使得占用大量网络协议资源选择的路由信息在很短的时间内变的不可达，从而不得不重新选择路由，这样势必造成很大的带宽和资源浪费。本文的重点是重新定义 MPR 集算法，使其具有高实效性，适合自组网多变的拓扑，同时这样选择出的 MPRs 使得泛洪数据具有一定的冗余性，也是针对无线网可靠性不高所做的调整。
- 由于新选择的 MPRs 具有一定的冗余性，在利用现有路由信息的条件下采用适当的选择算法寻找一条基于多径路由协议后备路由，在主路由出现断链或阻塞时及时切换到后备路由，这样会大大减少路由丢包率和时延。由于传统的多路径会出现同一链路被多条路径重复选择而造成信道冲突数据包丢失的情况，本文的重点是利用现有的链路状态信息选择备用路由，实现路由协议的改进。
- 通过仿真（OPNET）平台，实现重新定义适合快速移动 Ad Hoc 网络体系结构的基于 OLSR 的 MPR 集和后备路由算法，并得出改进后的相关结果与分析。

关键词：UAS-TN，路由协议，OLSR，MPR，后备路由

Abstract

The background of the work presented in this dissertation is the research project on Unmanned Aircraft System Group Tactic Network Architecture (UAS-TN), undertaken at Sichuan Network Communication Technology Key Laboratory (SC-Netcom Lab). It is necessary to rethink and rectify architectures of Ad hoc networks and relevant techniques in view that UAS will work in a hostile environment and move much faster than traditional nodes in Ad hoc networks. Therefore, the author's work is dedicated to a popular routing protocol in Ad hoc network, i.e. OLSR (Optimized Link State Routing) protocol. The work presented in this dissertation includes analysis of OLSR and improvement, The author's contribution can be summarized as:

- A. The current OLSR chooses the MPRs without considering the redundancies because of the USA's high speed. The MPRs choosing by routing protocol will become useless fastly, so the first contribution is to improve the performance of OLSR by redefining the MPRs in order to fit for it, and redefining the MPRs is to suit for the Ad Hoc's network architectures and improving the security and reliability. The dissertation's keystone is redefining the MPRs.
- B. Because of the redundancies redefining MPRs, the second contribution is to improve the MPOLSR (Multi-Path OLSR) and bring forward the SR-OLSR (Standby_Routing based OLSR) arithmetic. The arithmetic can be used when the first routing is null or became useless. At the same time, the success rate of data transmission and time lapse will be improved, so the second contribution is choosing the standby_routing in order to avoid the collisions between channels by MPOLSR.
- C. Finally, getting and analyzing the result by simulating the OLSR. The simulation tool is OPNET and the modul is OLSR reference by RFC 3626.

Keywords: UAS-TN, Routing Protocol, OLSR, MPR, Standby_Routing

目 录

摘 要.....	I
Abstract.....	II
目 录.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 项目背景.....	1
1.1.1 高速移动自组网网络体系结构.....	1
1.1.2 UAS-TN 中的路由协议.....	3
1.2 笔者的工作与贡献.....	4
1.3 论文结构.....	4
第二章 MANET 的 OLSR 路由协议及其仿真模型.....	5
2.1 目前国内外对 MANET 路由协议的研究现状.....	5
2.1.1 MANET 与本课题研究背景的关系.....	5
2.1.2 路由协议的分类及其代表.....	6
2.1.3 按需路由协议和先应式路由协议之间性能比较.....	8
2.1.4 路由技术小结.....	10
2.2 OLSR 路由协议.....	11
2.2.1 OLSR 协议的基本思想.....	11
2.2.2 OLSR 协议的关键技术.....	12
2.2.3 OLSR 协议的表结构.....	13
2.2.4 OLSR 协议的消息格式.....	15
2.2.5 OLSR 协议的适用性.....	16
2.3 OPENT 环境下的 OLSR 协议仿真模型.....	17
2.3.1 OPNET 仿真软件.....	17
2.3.2 仿真模型.....	19
2.3.3 OSLR 路由协议中重要的数据结构及其程序流程.....	21
2.4 测试与总结.....	23
第三章 基于重新定义 MPR 集的 OLSR 改进方案.....	24
3.1 关于基于重新定义 MPR 集的 OLSR 改进方案的研究动机.....	24

3.2 节点移动速度对数据传输成功率的影响	25
3.2.1 无人驾驶机群的网络体系结构特点	25
3.2.2 节点移动速度其路由性能的影响	25
3.2.3 节点移动速度对数据传输延时的影响	27
3.2.4 节点移动速度对网络影响的解析	28
3.3 以 OLSR 机制为基础的改进方案	29
3.3.1 经典 OLSR 路由协议的改进方向	29
3.3.2 改进方案	30
3.3.3 实现路由协议改进的操作流程	30
3.4 对比实验	32
3.4.1 实验条件	32
3.4.2 结果分析	33
3.5 基于重新定义 MPR 集的 OLSR 改进方案小结	35
第四章 重定义 MPR 集的 OLSR 路由后备路由协议	36
4.1 关于后备路径路由协议的研究动机	36
4.1.1 后备路径是减小数据传输延时, 提高数据传输成功率的需要	36
4.1.2 后备路径是增强战场抗毁性的需要	37
4.2 SR-OLSR 后备路径算法	37
4.2.1 SR-OLSR 的由来	37
4.2.2 基于 OLSR 的多径路由算法	39
4.2.3 基于 OLSR 和多路径的后备路由协议	40
4.3 仿真试验: 重定义 MPR 集的 OLSR 与 SR-OLSR 性能对比	42
4.3.1 仿真试验场景的设置	42
4.3.2 试验数据	43
4.4 结论分析	44
4.5 改进建议	45
4.5.1 链路层对多径路由的影响	45
4.5.2 选择后备路径路由协议带来的影响	46
第五章 工作总结与展望	47
5.1 关于使用 OPNET 进行 OLSR 协议仿真实验的体会	47
5.2 OLSR 协议研究工作的总结	47
5.3 未来工作的展望	48
致 谢	50

参考文献.....	51
攻读硕士学位期间公开发表的论文.....	55

第一章 绪论

1.1 项目背景

1.1.1 高速移动自组网网络体系结构

现代战争越来越呈现出一体化的特征：战斗行动一体化、力量部署一体化、战斗保障一体化、情报信息搜集一体化、信息战网络一体化。而未来战争的一体化的核心是信息一体化。在信息一体化中，信息获取是基础，没有战场信息，信息一体化就成了无源之水、无本之木^[1-3]。

因此，信息一体化首先是建立多维空间侦察监视体系，大量获取战场信息；其次是实现各维空间传感器网一体化。传感器网一体化是将各维空间战场的传感器联为一体，实现传感器相互间的查询。由于单个传感器的侦察监视能力有限，只能在一定的时间内对一定的区域实时侦察监视，若将各个传感器联为一体，建立全方位、全频谱、全时段的多维侦察监视预警体系，就能弥补单个传感器的侦察监视能力的不足，对敌实施实时的全时空侦察监视。

1997 年美军提出了网络中心战的概念，并认为它是二百年来军事领域最重要的革命，“从平台中心战法转变为网络中心战法，是个根本性转变”，网络中心战正成为美国及全球新军事战略中的核心。其中，无人飞机的运用是网络中心战中至关重要的一环^[1-9]。无人机在军事中的应用主要可包括以下几个方面：军事测绘、侦察探测、电子干扰、精确打击、信息战，以及与其它空中平台协同作战的战场进行评估等等，这些应用需求对无人机的作战水平提出很高的要求。然而迄今为止，无人飞机的操作还大都保留着由后方中心遥控多架无人机的模式，各个无人机之间没有相互的通信、协调、合作的能力，这使无人机群在信息获取、反应速度、作战范围以及机动灵活性等方面都受到很大的限制。因此，需要增强无人机之间的通信能力和动态组网能力，将单机与基地间的星形拓扑结构改变为星形与网状相结合的灵活结构，提高对无人机群实时态势感知能力、生存能力和作战能力。同时，无人驾驶飞机由于其机动灵活性以及能够减少人员伤亡，在敌情侦察、干扰敌方通信设施甚至发动战术攻击等方面正在发挥越来越重要的作用。

研究高速移动自组网网络的必要性可以从以下几个方面来认识:

① 高速移动自组网网络是未来军队作战网络的重要组成部分,因此,需要研究高速移动自组网网络与军队作战网络之间独立性和互通性之间的关系。

② 无人机应用模式开始从单机工作模式向单机与机群工作相结合的模式发展,因此,传统的单机与基地的单线通信方式应当逐步被机群局域/区域性网络与远程通信相结合的模式转化。

③ 无人机的多种工作模式(单机、多机群组协同工作和空间立体多层结构联合工作模式)以及机群与基地间通信要求使用多种通信技术(近、中距离和远程无线通信技术)。

④ 无人机是多兵种作战的重要手段,无人机与其它移动装备共同组成联合作战系统,因此,美国 2005 年已经将无人机(UAV - Unmanned Aerial Vehicle)改称为“无人驾驶系统”(US - Unmanned System),使其涵盖包括所有航天、航空、地面和海下的无人驾驶的设备。

⑤ 目前国际国内网络过分依赖 Internet 技术,而 Internet 本身存在用户数据传输效率低、数据传输服务质量得不到保障以及严重的安全问题,需要人们重新审视相关技术。

⑥ 出于我国国防安全的需要,我国的作战网络和无人驾驶飞机作战网络必须坚持独立的“专用网”和“内部网”的设计与建设路线,从网络体系结构到使用的技术应尽量与国外使用的技术不兼容,防止窃听和网络攻击。

西南交通大学四川省网络通信技术重点实验室关于“无人机群作战网络体系结构”UAS-TN 研究项目^[10]的主要研究目标为:以我军作战网络的需求为背景,分析国外的相关技术和发展趋势,以高速移动自组网网络为具体对象,研究能够适应未来作战需要的、具有中国特色的、安全高效的无人机群协同作战的网络的体系结构和相关技术。

UAS-TN 项目的具体研究内容包括:

① 全面考察现有国际国内的主要无人机技术现状、功能(执行任务能力、通信能力和现在使用的网络与通信技术)和工作模式,分析各种技术的利弊和改进方法。这部份工作已经开展,并为本项目的立项的背景研究奠定了基础;

② 全面考察无线通信技术:高频(HF)、甚高频(VHF)、超高频(UHF)、红外(IR)、自由空间光纤(FSO)通信、卫星通信技术,分析对比相关技术在无人机群作战网络的可用性和利弊;

③ 研究适合高速移动自组网网络的“自组网络”

技术，并进行相关模拟试验。其中，重点考察两个极端的无人机（战略型远程无人机和战术型局部战场无人机）自组网络的差异。对前一类无人机的自组网络技术的研究与模拟，关键是高移动性（近音速）环境下的自组网络的技术；

④ 提出能够适合多种无人机和多种应用模式的无人机群作战网体系结构和技术的建议，并进行相关的模拟/仿真试验，获取相关数据，最终形成体系结构建议文本和研究总结报告；

⑤ 为该体系结构中定义关键协议，并进行相关的模拟试验；

⑥ 根据在上述工作进展，在经费许可范围内搭建无人机群自组网络节点试验平台，为今后的研究开发工作做准备。

1.1.2 UAS-TN 中的路由协议

从网络体系结构的观点来看，路由协议应该属于控制平面的范畴。网络节点通过路由协议，完成相应的路径选择，从而为用户平面的数据的端到端传输提供基础和支持。因而路由协议性能的好坏在很大程度上会影响到用户平面内数据传出的质量，进而影响到整个上层应用的服务质量。

尽管国际上对移动自组网络（MANET – Mobile Ad hoc NET）技术的研究已经开展多年，但是通常涉及的 MANET 中继节点移动速率较慢，每秒移动速率为每秒数米、或者十几米。例如，步兵运兵车或机械化部队的移动速度为每小时几十公里，以美国最先进的 M1A2 坦克为例，最大时速为 42 英里/小时（约 18.8 米/秒）；而美国无人机新宠“全球鹰”飞机的时速为 644 公里/小时（约 178.9 米/秒），二者间在移动速度上有一个数量级的差别。因此，无人机群的 MANET 又有其自身的技术特点，必须有针对性地进行相关研究。

另一方面，无人飞机的网络迄今为止还大都保留着由后方中心遥控总台或前方地面站对多架无人机进行控制的单点（控制中心）—多点（多架无人机）模式，或者说采用星形拓扑结构。换言之，各个无人机之间没有直接通信、协调、合作的能力，而所有的行动只能通过指挥中心来完成，使无人机群在信息获取、反应速度、作战范围都受到很大的制约。如果将现有的一点（中心）对多（无人机/机群）的单一模式，扩展为灵活的对对多的网络模式，则可以提高对无人机群实时态势感知能力和无人机群间的协同作战能力，从而极大地增强无人机群的作战能力和生存能力，以及不同军种间无人机群间的互联互通和信息共享的能力。这是提出 UAS-TN 路由协议研究的另一个原因。

最后，由于 UAS-TN 所处的特殊的工作环境，即处于敌对的空间，网络节点（无人机）生存受到威胁，通信信道容易受到干扰，网络易受到入侵的威胁。因此，如何在这种恶劣的敌对环境中求生存以完成既定的作战任务就成为研究包括高效、适应能力强的路由协议在内的 UAS-TN 相关技术的主要原因。相应地，研究能够适应无人机作战网络应用环境的需要和能够有效地完成相关任务的 MANET 的路由协议，就具有十分重要的意义。

1.2 笔者的工作与贡献

笔者所从事的工作是以四川省网络通信技术重点实验室与××研究院的合作预研项目——“高速移动自组网网络体系结构研究”为背景，并在其中具体从事路由协议研究。这些具体的工作和贡献包括：

- 充分研究了 OLSR 路由协议，提出以最近访问时间代替原有的连接度来重新定义 MPR 集的选择方案，并在此基础上进行仿真实验。
- 利用现有的链路状态和 MPR 冗余度信息，提出基于多径的后备路由协议改进方案，避免了因多径而造成的信道冲突和链路缠绕，并通过仿真实验实现了该选择算法和改进结果。
- 通过仿真（OPNET）平台，分别实现重新定义适合高速移动自组网网络体系结构的基于 OLSR 的 MPR 集和后备路由算法，实验数据证明，改进后的 OLSR 路由协议对数据传输成功率的提高和时延的降低都是很明显的。

1.3 论文结构

本论文后续章节的安排为：第二章介绍 MANET 中路由协议研究概况、OLSR 路由协议原理及其在 OPNET 下的实现过程；第三章阐述基于重新定义 MPR 集的 OLSR 路由协议改进方案；第四章分析以此 MPR 集为基础的基于多径路由协议的后备路径算法，并得出仿真实验和对比；第五章对本论文的工作进行了总结，并展望今后进一步的研究工作。

第二章 MANET 的 OLSR 路由协议及其仿真模型

2.1 目前国内外对 MANET 路由协议的研究现状

2.1.1 MANET 与本课题研究背景的关系

在无线网络领域, Ad hoc 网络被用于描述一类特定的网络, 中文将这类网络译作“无线自组网”。按照网络联机《百科全书》的定义: “无线 Ad hoc 网(MANET – Mobile Ad hoc Network)是由可移动路由器及其相关的主机通过无线链路连接起来的组成任意拓扑结构的、可自配置(Self-configuring)的一类网络”。这一定义界定的 MANET 具有三个特点: 无线连接、节点(主机和/或路由器)可移动和网络拓扑结构可自动配置(自组织)。这一定义似乎隐含了主机间的“对等”工作模式(P2P)模式, 但并未排除 C/S 模式, 即主机间仍可能有服务器与客户机间明确分工。广义的 MANET 涵盖网状网(Mesh Network)这一子类, 该类网络的路由器节点通常不移动。

本课题的研究背景是实验室承担的有关“高速移动自组网网络体系结构”预研项目。近代战争的经验表明: 信息对赢得局部战场的胜利或整个战争至关重要, 因此现代战争被军事学家视为“以信息为中心的战争”。由于网络在信息交换、处理与存储上的重要性, 现代战争也被视为“以网络为中心的战争”(简称“网络中心战”)。在过去的 20 多年中, 无人驾驶飞行系统(UAS)由于用途广、制造成本低、无驾驶员及人员伤亡, 受到军方的高度重视, 在未来的战争中将扮演了越来越重要的角色。但是, 迄今为止国际上包括美国在内各军在无人驾驶系统的使用上, 主体上仍采用后方中心与单个无人系统间的直接通信控制模式, 随着无人系统的小型化, 美国开始意识到未来的无人驾驶系统的工作模式会逐步从“单机-后方中心”模式转向“机群-后方中心”模式。换言之, 多个无人驾驶系统之间可能通过无线技术组成协同工作的无人驾驶系统群, 通过无线通信手段组成专用(Private)的 MANET。这就是实验室研究无人驾驶机群战术网络(UAS-TN, UAS Tactic Network)体系结构的动因。

但是, UAS-TN 除了传统 MANET 的共性外还具有其特殊性, 它包括:

- ① UAS-TN 可工作于 P2P 和 C/S 两种模式——

所有的无人机（网络节点）既可能是信息发送源，也可能是信息接收节点，因此具有 P2P 的特征；另一方面，也可能部分功能较强、通信距离较远的无人机具备兼做专用服务器的能力，因此，也能够工作于 C/S 模式。

② **UAS 可能兼做 UAS-TN 的主机节点和路由器节点**——在无人机网络中，各个节点之间是平等通信，都有参与路由选择和数据传输的功能。由于无线节点数据传输范围的限制，通信节点之间往往需要中继节点来进行路由转发，因此 **UAS** 可能同时被选择为主机节点和路由器节点，势必有必要对无线网络的路由协议进行相应的研究与改进。

③ **UAS-TN 节点移动速度较传统 MANET 节点移动速度高**——传统上，尽管国际上对自组网网络技术的研究已经开展多年，但是通常研究的 Ad Hoc 网络中继节点移动速率较慢，每秒移动速率在 10—20 米/秒。例如，步兵或机械化部队的移动速度为每小时几十公里，以美国最先进的 M1A2 坦克为例，最高时速为 42 英里/小时（约 18.8 米/秒）；美国无人机新宠“全球鹰”飞机的时速为 644 公里/小时（约 178.9 米/秒），而 1998 年 Lawrence Livermore National Laboratory 设计的极超音速（hypersonic）飞机其速度为 6700 英里/小时，是音速的十倍。换言之，飞机与地面移动机械在移动速度上可能有数量级的差别。因此，无人机群的自组网网络又有其自身的技术特点，必须有针对性地进行相关研究。

④ **UAS-TN 安全性要求高**——无线通信环境通常通信速率较低、误码率较高，容易受干扰；加上 **UAS** 工作于敌对的空间环境之中，容易被地方干扰和窃听。因此，要求物理通信技术抗干扰能力强，防监测和窃听的能力；即使通信信号被敌方截获，内容应当难以被分析和破译；在敌方检测到我方通信信号后，网络应当具有抗入侵和抗假冒我方站点干扰和破坏我方网络正常信息交换的能力。

⑤ **应尽量提高 UAS-TN 的健壮性**——由于无人机飞行速度比较快，网络拓扑变化频繁，由传统的 MANET 路由选择算法得出的路径信息有可能很快变的不可达，势必重新进行选择路由，这样严重影响网络性能。同时对节点的能量也是个很大的考验。因此有必要对 **UAS-TN** 的健壮性提出更高的要求和改进。

2.1.2 路由协议的分类及其代表

目前国内外关于移动自组网络（MANET）路由协议的分类方法比较多^[12,13]

。根据路径是在发送数据前临时建立的还是根据事前的路径信息建立的，可以将路由协议分为按需（On-demand）路由协议和先应（proactive）式路由协议。尽管后者在许多文献中也被称之为“表驱动”（Table-driven）路由协议，但前一种方式并不排除采用“表驱动”，本文的讨论将采用按需和先应的分类法。但是随着技术的进步，新的路由协议也不断地被提出来，如基于地理位置的路由协议、基于服务质量的路由协议和混合路由协议等^[14, 15]。尽管这些协议分别强调其特殊性，但总是可以归入其中之一。图 2-1 为文献[12]按是否具备地理位置定位机制支撑所进行的自组网络中常见的单播路由协议的分类图；在与地理位置无关的路径协议中又再次按平面路径选择方式和层次结构进行划分。

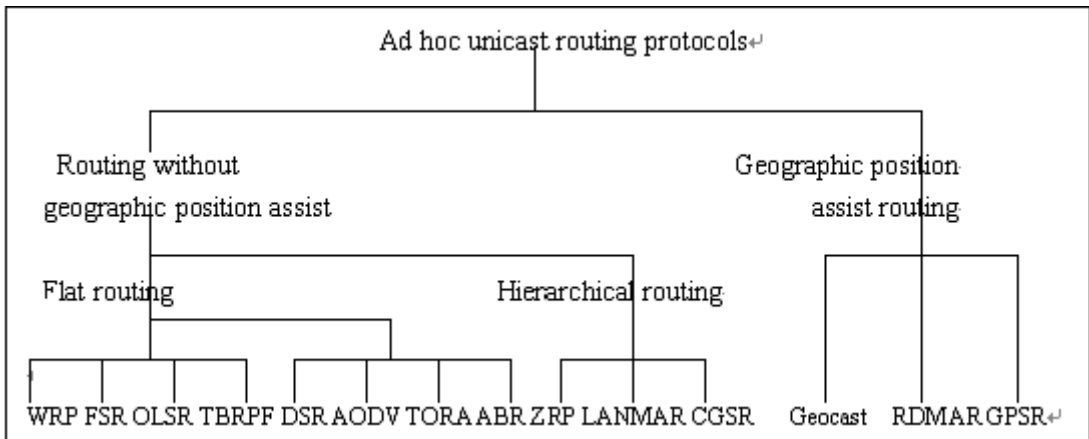


图 2-1 单播路由协议的主要类型

按需驱动路由协议在需要通信时才创建路径故也称反应式协议。一旦路由被建立后，它就进入路由维护过程，直到目的节点变得不可访问或者这条路径不再需要才拆除这条路由。按需路由协议的主要代表有：AODV（Ad hoc on Demand Distance Vector 按需距离矢量路由协议）、DSR（Dynamic Source Routing 源动态路由协议）等协议。按需驱动路由协议由于简单实用，节点开销较小，因而是路由协议目前研究中的热点，在民用技术中有大量的应用。

先应式路由协议（Pre-active Routing Protocol）试图维护一种连续的、不断更新的、从每个节点到网络中其它节点的路径信息，而不管该路径是否正在被使用。这类路由协议需要每个节点保持一张或更多的表来存放路由信息，而且为了保持网络视图能反映网络拓扑的动态变化，各节点必须在全网

发布更新信息。这类路由协议的主要代表有：OLSR、STAR (Source Tree

Adaptive Routing 源分发树自适应路由协议)、DSDV(Destination Sequenced Distance Vector 目的排序距离矢量路由协议)等协议。值得注意的是,其中某些路由协议,如果在其拓扑表中添加一些关于通信链路状况的信息,那么根据这些信息可以选择出与服务质量有关的路径,如 Q-OLSR (QoS-OLSR) 协议。需要指出的是,由于先验、先应式路由协议在实际传输数据之前就获得与通信链路质量有关的信息,因此,容易实现基于链路服务质量的路径选择,这在军事应用中具有重要的意义,因而各国军方都加强了对于以 OLSR 为代表的先应式路由协议研究。

在网络规模较大、节点数量多的环境中,采用单一的按需路由协议或先应式路由协议不一定能适应实际应用的需要,这就引入了分级/混合的路由机制。分级路由的关键之处在于将网络中的节点分成不同的组,并且定义组中负责进行对内对外联系的节点,组内和组间可以用不同的路由协议。分级机制的好处是路由的规模可变,适合规模较大的自组网;其坏处是由于某些功能相对集中在几个关键节点上,这些节点的对全网的传输性能和可靠性影响很大。分级路由协议的主要代表有:ZRP (Zone Routing Protocol 区域路由协议)、CGSR (Cluster-head Gateway Switch Routing 簇头网关交换路由协议)等协议。

借鉴分级路由的思路,在具体实施分级的方案时,也不必完全遵照那些典型的分级路由协议。也就是说,虽然混合/分级的路由协议根据实际的应用需求对各层协议之间的接口作了一定程度的处理,但是在各个子网/子区域中仍然是以相对单一的路由协议为基础。如文献[14]中分析指出,先应式路由协议由于周期性地交换路径信息,所以路径发现时延小,但是路径信息的交换和维护的开销大;按需路由协议则与之相反:开销小但时延较大。为了有效地适应网络的伸缩性,可以在区域内部采用按需路由协议,在区域外部采用表驱动路由协议。

虽然按需路由协议和先应式路由协议是目前应用最广、研究最多的路由协议,但是随着 MANET 研究和应用的深入,新的路由协议也不断的被提出来,其中比较有代表性的是基于地理位置的路由协议和基于服务质量的路由协议。限于篇幅,本文将不作介绍。

2.1.3 按需路由协议和先应式路由协议之间性能比较

文献[13]将按需路由协议和表驱动路由协议进行了比较后指出：由于表驱动的路由协议在传送数据包时依赖路由表的更新机制，这个机制以一个比较恒定的速率去向网络宣传路由信息，而不在乎这条路由到底在什么时候会使用到；但是按需路由协议的情况却不是这样，一个节点使用按需路由协议去寻找一条通往目的节点的路径时，如果找不到所需的路径，该节点将不得不处于等待状态。另一方面，由于先验式路由协议动态地广播路径信息和维护路径表，多数情况下都存在可用的本地节点到其它节点的路径（临时链路或节点故障除外）。这个特征有利于动态数据的传输，但是其代价是增加了信令传输对信道的占用开销、路径表维护开销和能量消耗。由于网络的信道资源和节点电池是 MANET 中的稀有资源，在某些场合也就给该类路由协议的应用带来一定的限制。表 2-1 是按需路由和先应式路由之间的比较。

表 2-1 按需路由和先应式路由之间的比较

Parameters	On-demand	Table-driven
Availability of routing information	Available when needed	Always available regardless of need
Routing philosophy	Flat	Mostly flat, except for CGSR
Periodic route updates	Not required	Required
Coping with mobility	Use localized route discovery as in ABR and SSR	Inform other nodes to achieve a consistent routing table
Signaling traffic generated	Grows with increasing mobility of active routes(as in ABR)	Greater than that of on-demand routing
Quality of support	Few can support QoS, although most support shortest path	Mainly shortest path as the QoS metric

需要指出的是，由于多数先应式路由协议都具有一定的 QoS 保障机制，所以经过改进后，有可能满足一些可靠性要求高的应用需求。

文献^[16]

以 STAR（先应式）、AODV（按需）、DSR（按需）为例，分析了在不同的网络密度情况下，先应式和按需驱动路由协议所表现出的性能。通过模拟实验指出：在连接稀疏的网络场景中，STAR 表现出了最好的性能；而在连接稠密的网络场景中，AODV 在投递成功率上性能最好，STAR 则依然在路由开销指标上表现最好，STAR 的投递成功率比 AODV 稍微低一些；在相同规模的网络场景中，当进行通信的节点对发生变化时，STAR 控制开销的改变情况要比 AODV 和 DSR 的控制开销改变情况要小。这一点通常也是先应式协议和按需路由协议的主要区别。另外还需注意的是在较大规模的网络中（200 个节点），STAR 会产生更多的控制开销。而当网络中的通信节点数与网络中存在的节点数之比小于 1:10 时，按需路由协议有更好的性能。

文献^[17]通过在真实的网络场景中，对 OLSR 和 AODV 进行了分析指出：至少在网络节点不多，拓扑结构变化不剧烈的条件下，不管是从效率方面还是从服务质量方面，先应式路由协议都比按需路由协议要好一些，同时由于网络规模较小，先应式路由协议的开销（如 TC 广播消息）也是有限的。而且 AODV 通信之前要有发起路由请求的过程，因此 AODV 的时延性能不太理想。文献^[17]也指出，随着网络节点数的增加，先应式路由协议的控制开销也会明显的增加。

2.1.4 路由技术小结

上一节比较了常用的路由协议，可以看出：各类路径选择协议都有各自的优点和缺点，并在不同的应用场合中体现出来。各种路由协议之间可能相互渗透，相互影响。因此，路径选择协议必须根据特定的应用场合的需要来选择，发挥不同技术的优势。

传统的基于拓扑结构的路由协议往往是单层的、基于先应式和按需的路由协议。这类路径选择协议提出很早，因而相对较成熟和稳定。但是，由于受到技术条件和应用背景的限制，这类协议主要是针对网络规模较小、节点移动速度较慢的场合中提出来的，通常不借助于外部定位工具（例如现代的 GPS）而完全依靠自身的机制进行路由决策。在大多数通信条件下（如 802.11b 的典型通信半径一般不超过 150 米），20 米/秒的移动速度往往是这类路由协议的上限。而且由于此类路由协议是呈平面的结构，所以网络的可扩展能力较差，随着网络节点数量的增加会表现出性能扩展方面的问题。

正因为如此，分级进行路径选择的协议被提出来解决网络规模的可扩展性问题。该类路径选择协议的实质是以群/组的形式将节点分为主干节点和分

支节点，由此以减少在逻辑上进行路由的节点，限制某些路由协议的作用范围，从而达到提供效率，降低开销的目的。有些文章中提出了混合方式的单播路由，其实质是结合了先应式和按需路由协议的优点，应用场合往往也是在一个分级的机制下被使用的，但分级与混合的缺点是带来了网络控制的复杂性。

需要着重指出的是，路由协议的目标是要实现路径的选取和维护，因而必须要存在关于通往网络中其它节点的路由信息。不论这种信息是以路由表的形式出现（如 OLSR、AODV 协议中的 Routing table），还是以路由缓存的形式出现（如 OLSR、DSR 协议中的 Routing cache），其实质都是一样的。不同之处在于按需路由协议所保存的路由信息是临时的，它只是在通信时才有效，而且只能反映网络中局部节点的路由特征；先应式路由协议的路由信息则是被长期维护，可以反映网络全体节点的路由特征。因而从这一点来说，先应式的路由协议更容易引入质量控制机制，也更能让质量控制机制表现出理想的性能。

限于篇幅，本论文这里只分析了经典的单播路由协议。对于组播路由协议请参考文献^[18-27]，对于一些新型路由协议的请参考文献^[28-39]。此外，本预研课题组关于 UAS-TN 路由协议的结题报告也对有应用潜力的路由协议进行了分析和归纳^[40]。

2.2 OLSR 路由协议

2.2.1 OLSR 协议的基本思想

OLSR 协议是一种先应式的链路状态路由协议，它是为了适应自组织网的需求，对纯链路状态算法进行优化而形成的。由于使用 OLSR 协议的节点在进行数据传输以前路由表中就已经存在到达目标节点的路径信息，所以具有路径选择等待时延小的优点。OLSR 协议对链路状态算法所做的优化有：

① 采用仅选择部分节点作为控制分组的中继节点的方式以减小控制分组的泛洪（Flooding）范围：任一节点仅选择部分邻节点作为它的中继节点，全网范围内都只有选定的中继节点才转发控制分组，其它邻节点收到该节点发送的控制分组时，只进行处理而不转发。这样就显著地减少了网络中广播的控制分组数量。这类节点被称为多点中继节点（MPR - Multi-Point Relays）。

② 缩减了控制分组的大小：节点并不发布与所有邻节点相连的链路信息，而只发布它与部分邻居的链路子集，这些邻居是它的多点中继选择节点（MPR Selector），也就是节点只发布与它的 MPR Selector 间的链路。

在 OLSR 中，节点周期地交换信息来维护网络拓扑。该协议要求每一个节点保存它到网络中所有可达目的节点的路由，因此它特别适用于网络规模大、节点分布密集的网络。

无线网络中,由于冲突或其它传输问题会导致数据分组的丢失。运行 OLSR 路由协议的节点周期性地发送自己的控制信息,在接收端,根据序列号的大小就可以区分新旧信息,所以不要求传送控制分组。

OLSR 逐跳查找路由,它要求节点周期地发送 TC 分组来发布 MPR Selector 信息,以帮助其它节点建立到它的路由。需要根据与邻节点的链路变化率,增加或减小发送 TC 分组的时间间隔。

2.2.2 OLSR 协议的关键技术

OLSR 协议的核心是多点中继 (Multipoint Relay) 技术。多点中继的思想是通过减少同一区域内相同控制分组的重复转发次数来减少网络中广播分组的数量。网络中的每一个节点选取其邻节点的一个子集用于转发该节点发送的控制分组。这些被选择的节点就称为该节点的 MPR,而该节点就称为这些 MPR 的多点中继节点 (MPR Selector)。节点 N 的 MPR 是从与 N 有双向链路的一跳邻居中选择的,因此,通过多点选择路由,自动地避开了在单向链路上传输数据分组的问题。

由此可见,节点 N 的邻居节点被分为两类:MPR 和非 MPR。节点 N 发送的广播分组通过 MPR 转发能到达节点 N 的两跳范围以外的其它节点。对于节点 N 的非 MPR,收到来自节点 N 的广播分组,只进行读取和处理,而不进行转发。为了实现这一点,每个节点都维护着一张 MPR Selector 列表,记录当前有哪些节点选择它作为 MPR。

每个节点从其一跳邻居中选择自己的 MPR 集,该节点通过该集合转发的分组能够覆盖该节点所有的两跳邻居节点。节点 N 的多点中继集 MPR(N) 是节点 N 的邻节点的子集,它满足条件: N 的每个两跳邻节点都必须有到达 MPR(N) 的双向链路,且节点 N 与 MPR(N) 间的链路也是双向的。原则上 MPR 集越小,路由协议性能越好。图 2-2 给出了一节点的多点中继集。

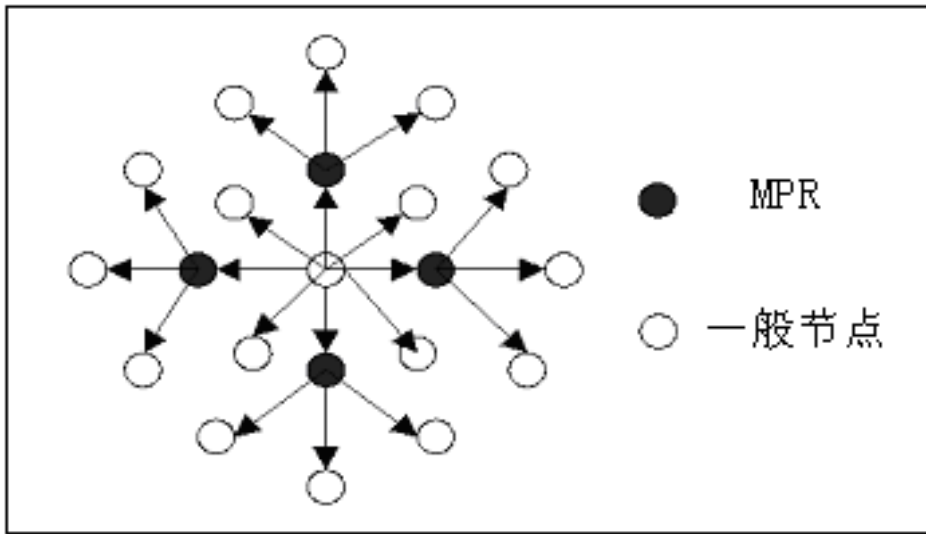


图 2-2 多点中继

OLSR 协议根据选择的 MPR 集来计算到所有目的节点的路由，即 MPR 用于组成给定节点到网络中任意目的的路由。网络中每个节点周期性地广播它的 MPR Selector 的信息。每个节点收到这一 MPR Selector 后，计算并更新自己到达每个已知节点的路由。因此，路由就是通过从源到目的节点的 MPR 的逐跳节点序列。

2.2.3 OLSR 协议的表结构

1、OLSR 路由协议中本地链路信息表

本地链路信息表存储了该节点和邻居节点的链路信息，以如下的方式存储 (L_local_iface_addr, L_neighbor_iface_addr, L_SYM_time, L_ASYM_time, L_time)

L_local_iface_addr: 本节点的端口地址

L_neighbor_iface_addr: 邻居节点的端口地址

L_SYM_time: 链路对称时刻，在该时刻之前，链路是对称的双向链路

L_ASYM_time: 链路非对称时刻，在该时刻之前，链路是非对称的单向链路

L_time: 链路维持时刻，链路在该时刻失效，必须被删除，当链路对称时刻和链路非对称时刻都达到时，链路丢失

2、OLSR 路由协议中邻居信息表

邻居信息表存储了邻居节点信息，两跳邻居节点信息，MPR 信息，MPR

selectors 信息。

邻居信息表存储格式—(N_neighbor_main_addr, N_status, N_willingness)

N_neighbor_main_addr: 邻居节点的主地址(节点在所有的端口地址中选择一个作为其主地址, 用于在网络中标识该节点)

N_status: 邻居节点的状态, 用于标识本节点与邻居节点之间是否存在对称链路

N_willingness: 邻居节点为其他节点转发分组的愿意程度, 包括 WILL_NEVER, WILL_LOW, WILL_DEFAULT, WILL_HIGH, WILL_ALWAYS 五个级别

两跳邻居节点信息存储格式—(N_neighbor_main_addr, N_2hop_addr, N_time)

N_neighbor_main_addr: 邻居节点主地址

N_2hop_addr: 2 跳邻居节点主地址, 2 跳邻居节点与邻居节点之间以对称链路连接

N_time: 标识了这个两跳邻居节点信息的有效时间

每个节点都记录邻居节点中作为本节点 MPR 的节点地址, 同时以 (MS_main_addr, MS_time) 的形式记录将本节点选为 MPR(也就是 MPR selectors)的邻居节点信息, MS_main_addr 表示 MPR selectors 的主地址, MS_time 表示了这条记录的有效时间。

3、OLSR 路由协议中路由表结构

在路由表结构上面, OLSR 路由协议同大多数基于表驱动工作方式的路由协议一样, 包含三个部分: 目的地址, 下一跳地址, 到目的地的距离。

1. R_dest_addr R_next_addr R_dist

2. R_dest_addr R_next_addr R_dist

3. ,, ,, ,,

路由表中目的节点地址域保存所要到达的目的节点的地址, 每个表项都具有不同的目的地址, 以此作为区别和查找路由的关键字。下一跳节点地址域保存到达目的节点的路径上的下一跳节点的地址, 作为转发数据时生成报文的报头信息。跳数值域保存了从本节点到达目的路由器所需要的跳数(每经过一个无线路由器则计算一跳), 当然, 可以根据实际的需要对距离选择不同的度量, 如选用带宽或者时延等。

4、OLSR 路由协议中网络拓扑表结构

OLSR

路由协议中每个节点维持一张网络拓扑表，用于描述网络拓扑，计算路由，包含四个部分：目的地址，到达目的地址的最后一跳地址，表项序列号，表项有效时间。

1. T_dest_addr T_last_addr T_seq T_time
2. T_dest_addr T_last_addr T_seq T_time
3. ,, ,, ,, ,,

拓扑表中目的节点地址域保存所要到达的目的节点的地址，每个表项都具有不同的目的地址。表项序列号用于记录本节点收到的最后一个 TC 分组的序号，当收到一个新的 TC 分组时，将新的 TC 分组的序列号与表项序列号相比较来决定接收还是丢弃该消息。表项有效时间用于表示该表项生存时间，超过生存时间的表项不能用于路由计算，必须删除。

2.2.4 OLSR 协议的消息格式

OLSR 路由协议采用一个公共机制来建立本地链路信息库和相邻区域信息库，这个机制就是周期性交换 HELLO 消息。

HELLO 消息的格式：

Reserved		Htime	Willingness
Link Code	Reserved	Link Message Size	
Neighbor Interface Address			
Neighbor Interface Address			
.....			
Link Code	Reserved	Link Message Size	
Neighbor Interface Address			
Neighbor Interface Address			
.....			

图 2-3 HELLO 消息格式

HELLO 消息的产生涉及到链路集合、相邻节点集合，以及 MPR 集合的发送。原则上，一条 HELLO 消息完成以下三个独立的任务：

- ① 链路探测；
- ② 相邻节点探测；
- ③ MPR 选择信令。

一个节点必须用 HELLO 消息在每个接口上进行链路探测，以便检测该接口与相邻节点接口之间的链路状况。为了进行相邻节点探测，一个节点必须将其对称一跳相邻区域广播到每个接口上。

OLSR 协议需要如下四种“链路类型”：

- ① UNSPEC_LINK。表示没有特定信息的链路。
- ② ASYM_LINK。表示非对称链路（即相邻节点接口能够接收的链路）。
- ③ SYM_LINK。表示使用该接口的链路是对称链路。
- ④ LOST_LINK。表示该条链路已经丢失。

OLSR 协议在链路探测部分和相邻节点探测部分基本上为每个节点提供了一个相邻节点列表、分组格式和分组转发、MPR 优化泛洪机制，使用这张相邻节点列表可以直接进行通信。在此基础上将拓扑信息传播到整个网络中。

TC 消息的格式：

ANSN	Reserved
Advertised Neighbor Main Address	
Advertised Neighbor Main Address	
.....	

图 2-4 TC 消息格式

TC 消息中广播相邻节点序列号 (ANSN)：本域表示跟一个广播相邻节点集合有关的序列号。一个节点每当检测出其广播相邻节点集合发生变化后，递增其序列号。发送这个序列号是为了保持跟踪最新的消息，一个节点收到一条 TC 消息后，就能够根据其 ANSN 决定所接收到的本条消息源节点的广播相邻节点的有关信息是否比已有的新。广播相邻节点主地址，本域表示一个相邻节点的主地址。TC 消息中包含其源节点的广播相邻节点的全部主地址

2.2.5 OLSR 协议的适用性

OLSR 是一个主动式的移动 Ad Hoc 网络路由协议。OLSR 协议非常适用于规模大、节点密度高的网络，这是因为采用 MPR 的优化在这种网络中表现良好。对比经典链路状态算法，网络规模越大，节点密度越高，MPR 优化的效果越好。OLSR 协议使用逐跳路由，即每个节点使用其本地信息为分组选择传输路由。

OLSR 协议也非常适用于在较大节点之间进行随机、零星的传输，而几乎总是排斥在较小的特定节点组之间进行传输。OLSR 协议作为一个主动式路由协议也适用于通信节点对随着时间的流逝而变化的场合。在这种场合中不会产生额外的控制传输，这是因为 OLSR 协议一直在为所有已知目的节点维护路由。

2.3 OPENT 环境下的 OLSR 协议仿真模型

2.3.1 OPNET 仿真软件

OPNET^[41]是一个大型的通信与计算机网络仿真软件包，最早是在 1986 年由麻省理工大学的两个博士创建的，并发现网络模拟非常有价值，因此于 1987 年建立了商业化的 OPNET。它为通信网和分布式系统的模拟提供了详尽的、全方位的支持。网络的状态和性能都可以通过执行具体事件仿真来分析。OPNET 集成了每个阶段的仿真工具，包括模型设计、仿真、数据采集和数据分析。用它构建网络，既可研究网络状态和性能，也能给用户提供了 OPNET 规划环境。

OPNET 本身包括一个大型的、丰富的模块库，提供各种基本模块给用户使用。同时用户也可以根据需要构造自己的模块，并将其存入模块库中，以便同组的其他用户使用。因此，用 OPNET 进行仿真来测试系统性能，比采用传统的解析分析和编写自己的仿真代码程序的方法具有复杂度更小且更为有效的优点。

和相应的实际通信网络的结构一样，OPNET 模型是分等级的。OPNET 模型通过图形编辑输入，这些编辑器提供了从模型系统到 OPNET 模型规范的直观映射。

OPNET 准备了灵活且高层可编程的语言，以支持通信和分布式系统，这一环境使所以的通信协议、算法和传输技术都能够真实的模拟，可以灵活开发复杂的用户模型。OPNET 可自动生成仿真，对模型的说明可以自动编译成 C 语言的可执行程序。OPNET 提供了大量内置的性能统计量，在仿真过程中能够自动被采集，在由用户定义的过程中计算的新的统计数据也可以由用户添加。仿真运行时能自动生成模型系统各等级的动画效果，还包括一些随时间变化的动画统计数字。所有的 OPNET 仿真都可以通过复杂的交互式调试器来进行仿真分析。

OPNET 的关键部分 OPNET

Modeler 用于设计、仿真和分析通信系统结构和协议，它使用的是面向对象的建模方法和图形化的编译器，因此使用起来非常灵活。它可以仿真大部分网络类型和技术，能够非常准确地为事件驱动系统仿真的设计和性能分析提供一个交互式、图形化的环境。利用它可以很方便的进行各种通信系统的设计和性能评估，从而避免了大量烦琐的实际测试、复杂的数学分析以及仿真程序的开发。

在 OPNET 各种产品中，Modeler 几乎包含其他产品的功能，针对不同领域，表现不同的用途；Modeler 能运用到端到端结构(End to End Network Architecture Design)、系统级仿真(System Level Simulation for Network Devices)、新的协议开发和优化(Protocol Development and Optimization)、网络和业务层配合如何达到最好的性能(Network Application Optimization and Deployment Analysis)。

OPNET 的建模域^[52]：

① 网络域：

网络域的作用是定义通信网络的拓扑。通信的实体是节点，每个节点的功能由定义它们的模型确定。节点模型由节点编辑器开发。在单一的网络模型中，可能有很多个节点基于同一个节点模型。项目编辑器为网络模型的开发提供了一个图形化的环境。用于构建网络模型的基本对象是固定的通信节点。固定节点可以放在任意的位置，但是在仿真进行的时候位置不会改变。移动节点可以赋给预先定义的运动轨迹。为了简化网络协议、分解网络的复杂性，许多大型的网络使用“子网”这个抽象的概念。一个子网是一个大型网络的设备子集，他们可以自己构成一个网络。

② 节点域：

节点域为通信设备提供了建模环境，这些设备可以在网络越中使用何互联。在 OPNET 术语中，这些设备称为“节点”。节点模型在节点编辑器中开发，使用更底层的构件“模块”来表达。节点模型包含很多不同的模块。共有 3 种不同类型的连接将各个模块联系起来，它们被称为统计线、分组流何逻辑关联。分组流可以将分组从一个模块传送到另一个模块。统计线在模块之间承载简单的数字信号或者控制信息，典型地用于一个节点对另一个节点或者状态进行检测。逻辑关联则明确地指定了模块之间的绑定关系。目前，逻辑关联只允许用于发射机和接收机之间。

③ 进程域：

在节点域中提到，队列和处理器模块是可以由用户编程的，是通信节点

的主要构件。这些模块的执行称为“进程”

。一个进程在许多方面可以相似地认为是一个正在执行的程序，因为它包含了一组指令并维持状态的存储。OPNET 中的进程会对中断做出反应。中断是指一个时间被指向一个进程并要求它做出某些反应。中断可能由进程组外部发起者产生，也可能由进程组其他进程产生，或者由进程本身产生。典型的中断相当于这些事件：消息到达、时间到期、资源释放或者其它模块中状态的改变。

运用 OPNET 仿真软件，对于一个仿真所需要的步骤为：

创建网络模型（Create Network Models）->选择统计参量（Choose Statistics）->运行仿真（Run Simulations）->查看和分析结果（View and Analyze Results）

2.3.2 仿真模型

为了实现 OLSR 路由协议的模拟仿真，笔者在 OPNET 中定义了仿真场景、节点协议栈以及 OLSR 路由协议等仿真模型。

图 2-5 显示 OPNET 中的仿真场景模型图。图中有 18 个移动节点，代表 18 个移动收发站点。

图 2-6 显示一个移动节点内部协议栈的模型，OLSR 位于协议栈中的路径选择层。

在路径选择层中定义了 OLSR 协议的条件/操作关系如图 2-7，实现其 OLSR 的路由选取逻辑。

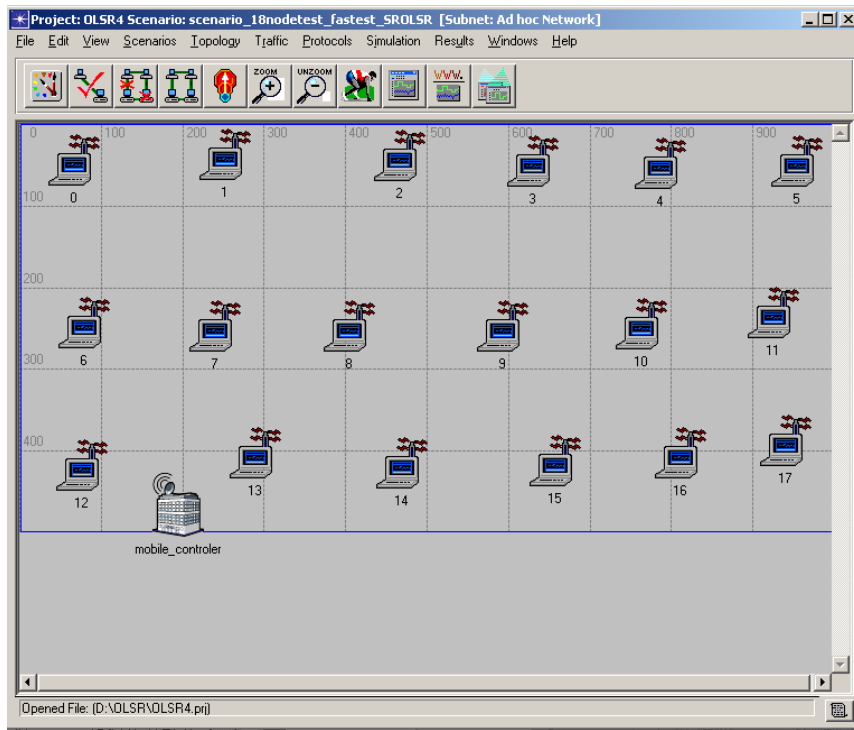


图 2-5 仿真场景模型

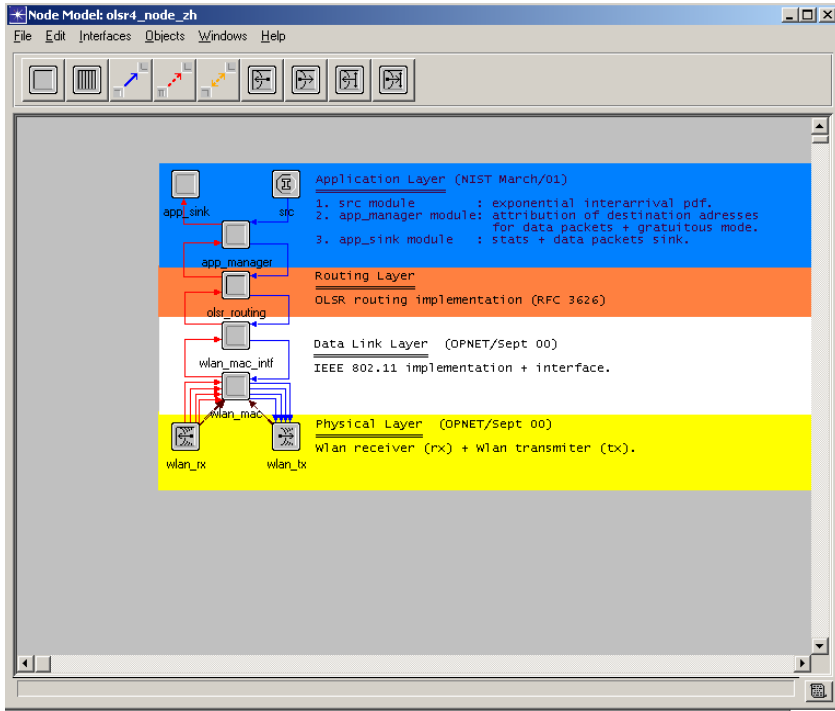


图 2-6 节点内部的协议栈模型

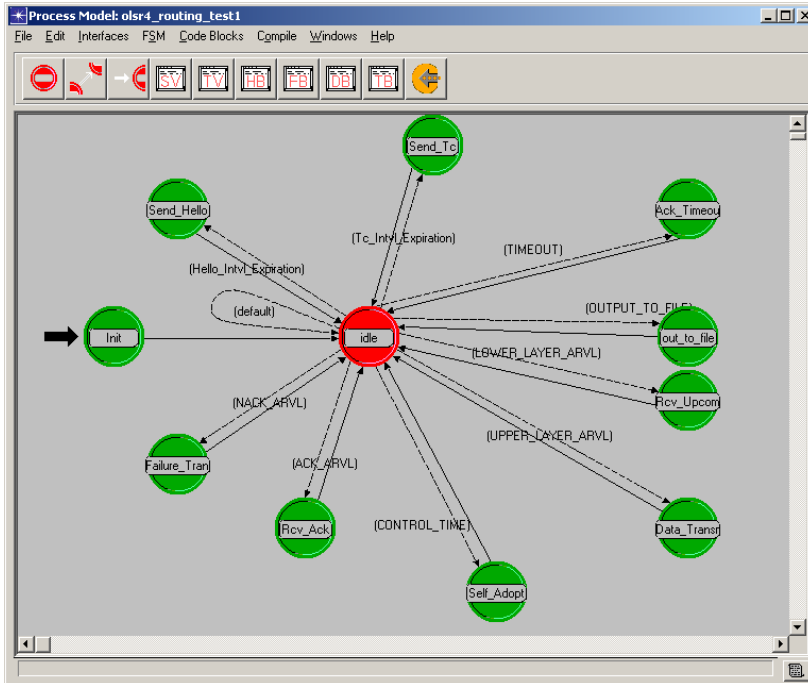


图 2-7 路径选择层的条件/操作关系（实现 OLSR 逻辑）

2.3.3 OSLR 路由协议中重要的数据结构及其程序流程

① 一跳邻居表

```
struct Neighbor_table
{
    int    N_addr ;
    int    N_status;
    double N_time;
    int    degree ;
    . . . . .
    struct Neighbor_table *suiv;
};
```

其中, N_addr 表示和此节点相邻的邻居节点。

② 两跳邻居表

```
struct Neighbor_2hop_table
{
    int N_2hop_addr ; // address of 2-hop neighbor
    double N_2hop_time ;
    struct Neighbor_2hop_table *suiv;
};
```

③ 拓扑表

```
struct topology_infos
{
    int T_dest ;
    int T_last ;
    . . . . .
    struct topology_infos* suiv;
};
```

其中, $\langle T_dest, T_last \rangle$ 表示一对可直接进行通信传输的相邻节点。

④ 路径表

```
struct routing_infos
{
    int R_dest ;
    int R_next ;
    int R_dist ;
    . . . . .
    struct routing_infos* suiv ;
};
```

```
};
```

其中, R_dest 表示每个可达的目标节点, R_next 表示到达 R_dest 节点需要经过的下一跳, 而 R_dist 表示完成该路径所需的跳数。

⑤ 数据包的中继过程

// 该函数从网络下层得到用户数据包, 然后对数据包进行分析、选径和转发

```
void olsr_data_pk_route(Packet* data_pk_ptr)
{ struct routing_infos * entryPtr;
  int dest;
  int nextHop;
  int src;
  // 解析包头
  op_pk_nfd_get(data_pk_ptr, "Originator", &src);
  op_pk_nfd_get(data_pk_ptr, "Destination", &dest);
  if(dest == cur_node_addr)
  { //到达目标节点
    . . . . .
    op_pk_destroy (data_pk_ptr)
    return;
  }
  else
  { int hop;
    //跳数加 1
    op_pk_nfd_get(data_pk_ptr, "Hop_count", &hop);
    if(hop > 16)
    { //丢弃
      op_pk_destroy (data_pk_ptr)
      return;
    } //查路由表
    entryPtr =trouve_R_next (cur_node_addr, dest);
    if (entryPtr!=NULL)
    { // 得到下一跳地址
      nextHop =entryPtr->R_next ;
      op_pk_nfd_set(data_pk_ptr, "Next_hop_addr", nextHop);
```

```
    op_pk_nfd_set(data_pk_ptr, "PreviousHop",
cur_node_addr);
    hop++;
    op_pk_nfd_set(data_pk_ptr, "Hop_count", hop);
    . . . . . //将数据包发往 MAC 层
    olsr_pk_send_to_mac_layer(data_pk_ptr, nextHop);
}
else
{ //路由表中不存在到目的节点的路由信息
    op_pk_destroy (data_pk_ptr)
    return;
}
}
```

2.4 测试与总结

IEEE 在 1983 年把软件测试定义为：使用人工或自动手段来运行或测定某个系统的过程，其目的在于检验它是否满足规定的需求或是弄清预期结果与实际结果之间的差别^[42]。笔者所写的代码均按照单元测试、集成测试的要求进行了相应的测试，测试结果表明所写代码符合 OLSR 路由协议规范。

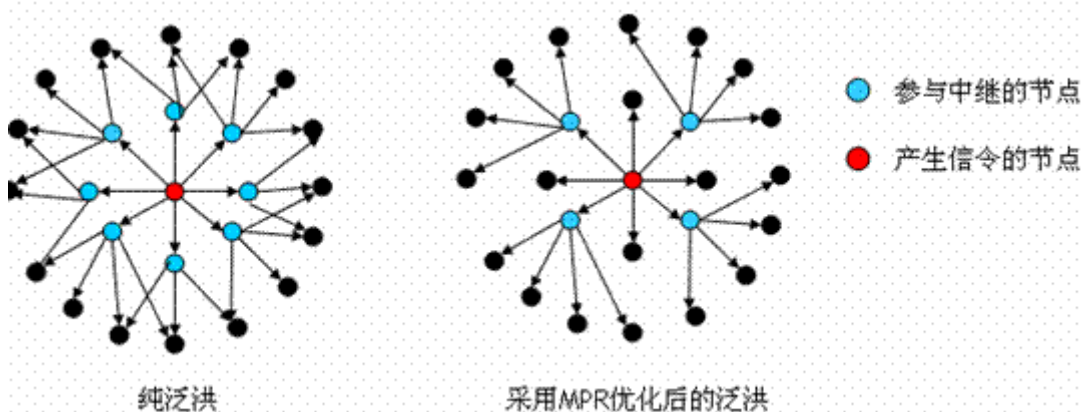
由于现有的路由协议各有各的研究出发点和适用范围，并非每个协议都是在任何条件下皆可以适用，关键是要研究其适用条件。针对高速移动自组网的节点移动速度比较快的特点，笔者力求寻找一个比较适合高速移动自组网的路由协议或者在现有的路由协议基础上进行改进，以便于更好地发挥路由协议功能。

第三章 基于重新定义 MPR 集的 OLSR 改进方案

3.1 关于基于重新定义 MPR 集的 OLSR 改进方案的研究动机

目前，对MANET的路由协议研究较多的是按需路由协议，关于先应式路由协议的研究相对有所不足。由于OLSR路由协议可以在路径建立前、路由过程中动态地获知网络中的链路状态信息，这在军事上有很好的应用前景。比如在敌方对其通信链路的干扰情况下，了解实时相关的链路状态，再有针对性地进行路由策略，这在军事上尤为重要。所以，近年来各国军方也加强了对OLSR等先应式路由协议的研究。

MPR 是 Multipoint Relay (广播中继) 的缩写, 采用该机制的目的是使用较少的数据转发开销, 获得与全网泛洪一样的数据传输效果[43]。网络中每个节点N 从自己的邻居节点集合中适当选取部分节点构成自己的广播中继集合MPRs, 只有集合中的这些广播中继邻居(MPR-Neighbor) 收到来自节点N 的泛洪数据后会进行转播, 其他邻居只作适当处理(记录, 丢弃)。定义节点N 经过两跳而且至少两跳才能到达的节点为N 的两跳邻居, 则MPRs 的选择算法要保证做到, N 广播的泛洪数据经过N 选择的广播中继邻居转发后, 可以被N 的所有两跳邻居收到。MPR 的原理就是减少同一个区域内重复广播的数据而获得较小的泛洪开销, 但同时又保持了泛洪的效果。图3-1 给出了一个形象的例子。我们把这种采用了MPR 机制的泛洪方式称为广播中继泛洪(MPR-Flooding)。每个节点都周期性发送Hello 消息, 其中包含了自己的邻居列表。每个节点通过收到的邻居节点的Hello 消息的邻居列表是否包含自己来判断该链路是否双向链路, 获得自己的双向邻居列表。通过这些Hello 消



息, 节点N 同时也可以获得N 的两跳邻居集合。

图3-1MPR集的定义

3.2 节点移动速度对数据传输成功率的影响

3.2.1 无人驾驶机群的网络体系结构特点

无人机在军事中的应用主要可包括以下几个方面：战略军事测绘与侦察探测、战术信息收集与打击效果评估、电子干扰和直接的战术攻击等。因此，它是战略和战术信息收集的重要环节，在某些场合它也可能成为关键的战术攻击的重要手段。

传统的商用移动网 (Mobile Network) 中只有用户设备具有移动性，地面转接 (中继) 站点不具有移动性；而无人机 (UAV) 在空间飞行，机间通信只能依赖无线通信手段 (卫星、短波、微波、空间光纤通信或其他超高频段)。UAV 自身的高速移动性 (可接近音速，甚至超过音速)，使机间的空中相对位置可能迅速地变化。因此，无人驾驶飞机群 UAVG-NET 与传统的基于地面站点的移动通信网有很大的区别。换言之，UAV 在网络中一方面可能是收发数据的端节点 (End-system)；另一方面，当通信双方距离超出所使用的通信技术的有效范围时，必须借用其他节点进行中转，因此，每个 UAV 节点又必须具备扮演中继节点 (Relay System) 的能力。由于 UAV 节点在空间移动，因此无人机作战网络的网络拓扑结构具有时变特点，是典型的自组网络 (Ad hoc Network)。

尽管国际上对 Ad hoc 网络技术的研究已经开展多年，但是通常研究的 Ad hoc 网络中继节点移动速率较慢，每秒移动速率在 5 — 15 米/秒。例如，步兵运兵或机械化部队的移动速度为每小时几十公里，以美国最先进的 M1A2 坦克为例，最到时速为 42 英里/小时 (约 18.8 米/秒)；美国无人机新宠“全球鹰”飞机的时速为 644 公里/小时 (约 178.9 米/秒)，而 1998 年 Lawrence Livermore National Laboratory 设计的极超音速 (hypersonic) 飞机其速度为 6700 英里/小时，是音速的十倍。换言之，飞机与地面移动机械在移动速度上可能有数量级的差别。因此，无人机群的 Ad hoc 网络又有其自身的技术特点，必须有针对性地进行相关研究。

3.2.2 节点移动速度其路由性能的影响

在 MANET 中进行通信的节点，由于这样或那样的原因，在进行数据传输的时候总会在一定程度上造成数据包的丢失，从而给路由的性能造成很大影响。因而在开始考虑路由改进方案之前，针对无人驾驶飞机移动速度相对比较快的情况下，有必要对节点移动速度对路由协议的影响作一些较为深入的分析。

实验：模拟在 500×1000 米的网络场景中，有 18 个节点进行通信 (完全

满足 OLSR 路由协议需要节点密集度比较高的网络)。节点的移动速度分别为 10 米/秒, 20 米/秒, 30 米/秒, 通信半径 200 米, 各节点随机选择目标节点发送数据。节点移动速度对网络中数据传输端到端成功率和传输时延的影响如图 3-2 和表 3-1 所示。

表 3-1 节点移动速度与数据传输成功率之间的关系

时间 s 成功率 状态		6	10	20	30	40	50	60
		改进前	10 米/秒	0.216	0.489	0.717	0.795	0.828
	20 米/秒	0.216	0.489	0.717	0.768	0.795	0.81	0.828
	30 米/秒	0.216	0.423	0.567	0.657	0.702	0.735	0.759

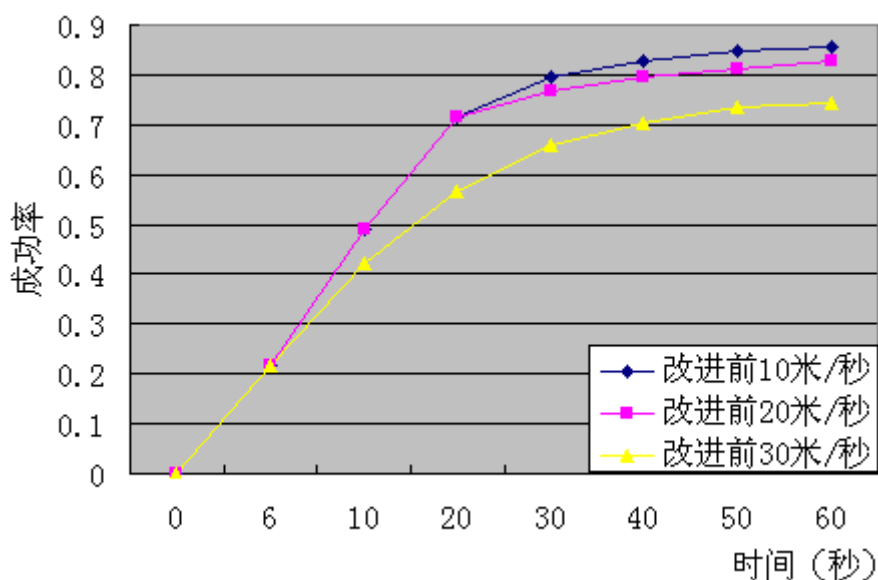


图 3-2 节点移动速度与数据传输成功率之间的关系

分析图 3-2 和表 3-1 可以看出, 网络初始化时, 数据传输成功率和时延都没显著的变化, 随着节点移动的增加和仿真时间的推进, 端到端数据传输成功率下降加剧, 同时在 60 秒时网络仿真性能趋向稳定。当节点移动速度由 10 米/秒增加到 30 米/秒时, 数据传输成功率也从开始的 85.5% 下降到 75.9%, 差不多下降了 10 个百分点。在现代化的无人驾驶机群网络作战体系中, 下降 10% 的数据成功率就意味着有可能大量重要信息的丢失, 那后果将十分严重, 甚至有可能造成整个作战系统的失败。由于现有无人机群速度往往比较快(最快可达数百公里/小时), 因此, 在保证节点移动速度条件下, 设法提高数据传输成功率有及其重要的意义。

3.2.3 节点移动速度对数据传输延时的影响

由于节点移动速度加快,网络拓扑变化频繁,势必会造成很大的数据丢包和网络路由的重新选择,先前建立的路由有可能还没来得及传输数据,就的重新发送链路控制信息,重新建立路由链路。这样,势必加剧网络阻塞和影响数据的传输时延。因而在开始考虑路由改进方案之前,有必要也对节点移动速度对数据传输时延作一些较为深入的分析。

实验:模拟在 500×1000 米的网络场景中,有 18 个节点进行通信。节点的移动速度分别为为 10 米/秒, 20 米/秒, 30 米/秒,通信半径 200 米,各节点随机选择目标节点发送数据。节点移动速度对通信子网各层以及路由质量的影响如图 3-3。

表 3-2 节点移动速度与数据传输延时之间的关系

时间 s		6	10	20	30	40	50	60
时延 s								
状态								
改进前	10 米/秒	0.0014	0.0018	0.0021	0.0041	0.0044	0.0075	0.0067
	20 米/秒	0.0014	0.0019	0.0042	0.0175	0.0233	0.0254	0.0217
	30 米/秒	0.0018	0.0023	0.0313	0.0312	0.0304	0.0273	0.0252

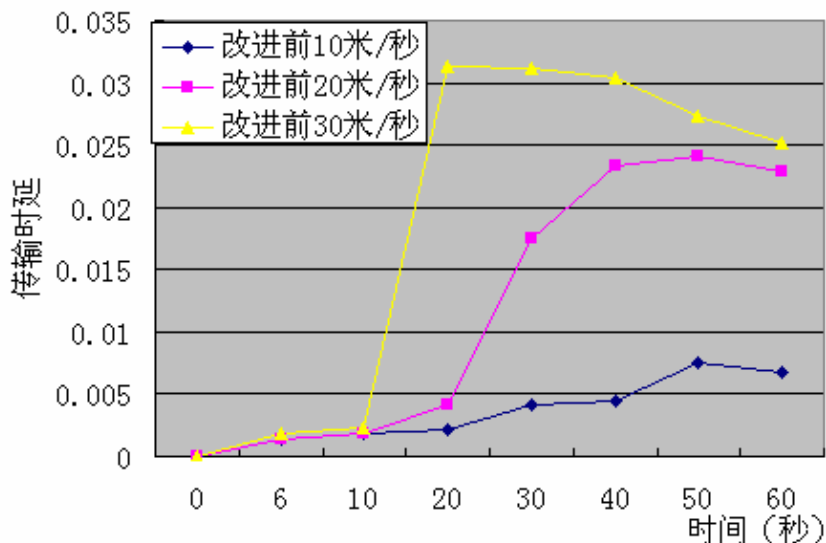


图 3-3 节点移动速度与数据传输延时之间的关系

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/608022023033006052>