

基于 OPNET 的对流层散射通信组网建模及仿真研究

周伊荟¹ 程安潮¹ 刘丙童¹ 张孚尧¹

摘 要 随着关键技术的突破和现实需求的推动, 散射通信由点对点为主向网络化组织运用转变成为散射通信发展的必然趋势, 因此, 科学论证散射通信网的技术体制是一项重要课题。文章针对新一代散射通信网组网运用过程中如何科学选择网络组织形态这一问题, 基于 OPNET 构建了散射通信网络、节点和链路模型, 并开展了不同网络组织形态下网络组网性能仿真实验与仿真结果分析, 为对流层散射通信研究论证和组网运用提供了定量依据和参考借鉴。

关键词 OPNET, 对流层散射通信, 组网, 建模仿真

Modeling and Simulation of Troposcatter Communication Network based on OPNET

ZHOU Yi-Hui¹ CHENG An-Chao¹ Liu Bing-Tong¹ ZHANG Fu-Yao¹

Abstract With the breakthrough of key technology and the promotion of practical demand, scattering communication has become an inevitable trend of development from point-to-point to network organization. Therefore, it is an important topic to demonstrate the technical system of scattering communication network scientifically. Aiming at the problem of how to choose the network organization form scientifically in the application of the new generation scattering communication network, this paper constructed the scattering communication network, node and link model based on OPNET, and carried out the simulation experiment and analysis of the network performance under different network organization form. It provides quantitative basis and reference for research demonstration and networking application of troposcatter communication.

Key words OPNET, troposcatter communication, networking, modeling and simulation

对流层散射通信是一种利用对流层大气媒介中的不均匀体对电波的前向散射作用而实现的超视距无线通信方式^[1], 具有传输媒介永恒存在、抗干扰抗截获能力强、战场环境适应性强、核袭击后可有效通信、顽存抗毁、高可靠传输的优良特性^[2], 因而自投入应用以来在无线通信中始终占有重要地位, 特别是在军事通信领域中扮演重要角色, 成为现代战争的主要通信手段以及新一代通信网的主体^[3]。美、俄等军事强国将散射通信作为一种很有潜力的远距离通信方式进行了长期建设和持续投入, 并组织运用于多次重要作战行动中^[4]。例如, 在“沙漠风暴”行动期间, 美军利用散射通信系统把有史以来最大的一个军事通信远程骨干网络连接了起来, 为各军兵种通信提供了重要的网络支撑^[5]。

对流层散射通信目前主要以专向点对点通信组网为主, 组织运用方式还比较单一^[6]。随着军事活动的日趋复杂多样和对通信指挥的更高要求, 近年

来, 我国也在不断研究和发展系统集成度更高、通信链路数量更多、组网更灵活的多向散射通信系统, 并在多向散射通信系统构建^[7]、组网接入技术^[8]等相关领域取得重大进展。但目前开展的相关研究大多聚焦于组网某项局部技术, 在网络化组织运用方面的研究相对较少。散射通信由点对点为主向网络化组织运用转变是未来散射通信发展的必然趋势, 如何科学论证散射通信网的组网形态、网络架构、路由与交换等技术体制是展开对流层散射通信网建设论证必须率先突破的一系列课题。

鉴于此, 本文聚焦新一代散射通信网组网运用过程中如何科学选择网络组织形态这一问题, 采用主流网络仿真技术, 基于 OPNET 仿真平台构建散射通信网络仿真模型, 并通过构想编配部署组网相关节点, 探索不同网络组织形态下的散射通信网组网性能, 可为对流层散射通信研究论证和组网运用提供了定量依据和参考借鉴。

1. 国防科技大学信息通信学院 湖北 武汉 430000

1. School of Information and Communication, National University of Defense Technology, Wuhan Hubei 430000, China

1 OPNET 三层建模机制

OPNET 网络仿真软件是目前世界上先进的网络仿真开发和应用平台之一，它采用模块化的设计和数学分析的建模方法，能够对各种网络设备、通信链路和各层协议实现精确建模，特别适合各种网络仿真研究，它在网络规划与设计以及对现有网络的分析方面都有很好的表现，同时也为通信协议和路由算法的研究提供了与真实网络相似的环境^[9]。

OPNET 中提供多种编辑器来帮助用户完成网络建模和仿真运行，通过三层建模机制建立起来的三层模型和实际的协议设备、网络层次完全对应，全面地反映了实际网络的相关特性。建模工作划分为三个层次，即建模工作在三种不同的环境中完成，这三种环境也称为三个域，分别是网络域、节点域和进程域，如表 1 所示^[10]。

表 1 OPNET 三层建模域
Table 1 OPNET three-tier modeling domain

建模域	编辑器	功 能
网络域	Project	利用节点构建反映现实网络结构的拓扑
节点域	Node	提供模拟网络节点内部功能所需要的硬件或软件资源
进程域	Process	是实现各种协议算法、排队策略等的具体实体

网络域用来确定网络的拓扑结构、协议、应用、流量以及其他一些系统设置，主要由节点和通信链路组成。节点是通信中的一个设备或资源，由支持相应处理能力的硬件和软件两部分组成^[11]。数据在节点中生成、传输、接收和进行处理。通过节点编辑器可以描述协议的层次结构，并通过描述功能模块之间的数据流来实现一个网络器件或系统的体系结构。进程域是建模机制的最底层，它会模拟单个对象的行为，使用有效状态机来描述实际进程中的逻辑，例如，通信协议和算法、共享资源管理、排队原则、统计量收集机制以及操作系统等，可以实现节点域中的模块的功能^[12]。

2 散射通信模型构建

本节通过 OPNET 对散射节点模型、进程模型等模块进行逐一构建，并进一步构建出对流层散射通信网络模型，为后续仿真实验提供不同的网络场景。

2.1 节点模型构建

在 OPNET 中节点用来进行信号的收发，是进行

媒介竞争访问的终端。节点模型是基于 OSI 的网络七层协议模型来创建的^[13]。本文根据不同节点的特点和功能，采用改进 OSI 七层模型的方法建立对流层散射节点模型。根据探测—建链—传输—拆链—等待的通信流程，提出两类散射通信站节点模型，一类是能产生、接收散射信号的外围节点模型；另一类是除具有外围节点功能特点外还具有寻路转发功能的中心节点模型。其中，中心和外围节点之间一般以不规则的网络结构进行组网，支持双向通信单向传输数据；中心节点和中心节点之间可以通过全双工进行通信。

图 1 所示为散射中心节点模型，中心节点通过多个空口收/发信机与外围节点建立通信网络。其中，Interface 为中间模块，用来连接无线接入模块和 WireManager 模块，将空口数据包发送到 WireManager 模块后并分发到不同的接入模块，最后通过空口发送到外围节点；WireManager（无线管理进程）模块负责控制网络数据转发；CenterManager（中心管理进程）模块为中心管理节点，如果数据包是发送给自己子网的，那么就将数据转发给 WireManager 模块，如果数据包是转发给其他子网的，就转发给 EthManager 模块；EthManager（有线路由进程）为有线路由管理模块，数据包到达该模块后进行路由计算，通过 Dijkstra 算法^[14]计算出到达目的节点的最短路由，建立静态路由表，并将路由写入数据包。DataHandle（有线链路管理进程）模块用来建立端到端链路，收集链路信息和邻居信息，收到数据包时读取静态路由表，并进行转发；每个节点有 8 对有线收/发信机 xmt1~xmt8 和 rcv1~rcv8。其中，有线收/发信机用来建立数据网络，相当于 8 对以太网

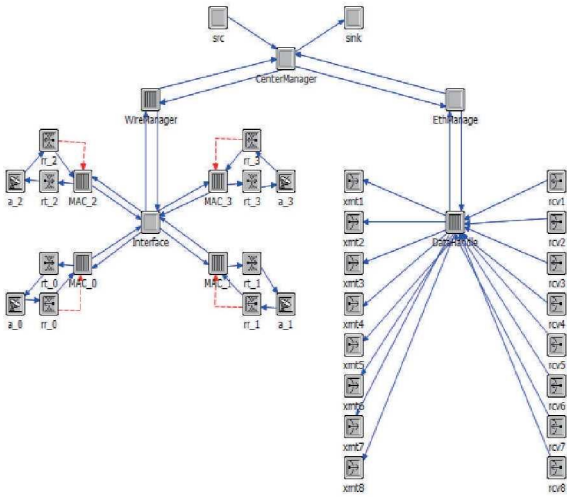


图 1 散射中心节点模型
Fig. 1 Scattering center node model

接口。

图 2 所示为散射外围节点模型，外围节点模型主要用来实现数据包的产生、发送和接收，具备接入中心节点的能力。和中心节点相比，外围节点只需要一个无线信道和中心节点进行连接和数据传输。

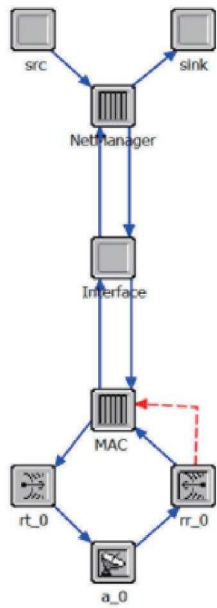


图 2 散射外围节点模型
Fig. 2 Scattering peripheral node model

2.2 网络模型构建

在 OPNET 中通过节点模型实例化的节点对象相互联系，可以构建出反映现实网络的拓扑结构，建模的对象包括子网、节点和对象三类^[15]。由于散射通信网的组织形态千变万化，本文提出链式、星型、网状三种不同结构的散射通信网，并在一定的仿真区域范围内部署构建这三类散射通信网。

(1) 散射链式网络模型。散射链式网络采用线状拓扑结构，运用多个中心节点与外围节点组成散射通信链式网络。中心节点采取固定路由技术，实现散射信号的多跳超视距中继传输。链式网络主要用于散射干线通信接力传输，可将东西方向或南北方向距离较远的节点进行连接，实现散射信号的远距离滚动延伸。

散射链式网络模型拓扑结构如图 3 所示，在地图中构建部署 6 个对流层散射子网，子网内部使用设计的散射节点模型采用半双工模式进行散射组网，不同子网之间采用 10Mbps 的专网线路建立链式网络。

(2) 散射星型网络模型。散射星型网络是利用 1 个中心节点与若干外围节点共同组成的星状网络模型。中心节点与外围节点构建起散射支线通信链



图 3 散射链式网络模型
Fig. 3 Scattering chain network model

路，完成散射信号的中间转发，实现多站联动、末端接入。中心节点采用多向散射通信技术实现对周围地区的广域覆盖，覆盖范围内的散射节点构建起一级网络，外围节点之间可以互相连接构建起二级网络，共同形成庞大的星型散射通信网。

散射星型网络拓扑结构如图 4 所示，以 Scatter-Network4 为中心，构建部署 6 个散射子网，子网内部使用的散射节点模型采用半双工模式进行散射组网，不同子网之间采用 10Mbps 的专网线路建立星型网络。



图 4 散射星型网络模型
Fig. 4 Scattering star network model

(3) 散射网状网络模型。散射网状网络采用混合拓扑结构，运用多个中心节点和外围节点，通过站点间的相互连接组成散射通信网状网络。中心节点用于对散射信号的多跳中继和中心转发，外围节点作为支线中继或末端接入网络。实现搭建大跨距无线链路，满足跨区域通信保障需求。

散射网状网络模型拓扑结构如图 5 所示，在网中构建部署 6 个散射子网，子网内部使用设计的散射节点模型采用半双工模式进行散射组网，不同子网之间采用 10Mbps 的专网线路建立网状网络，散

射子网之间通过有线专网建立多端口的网状网络。

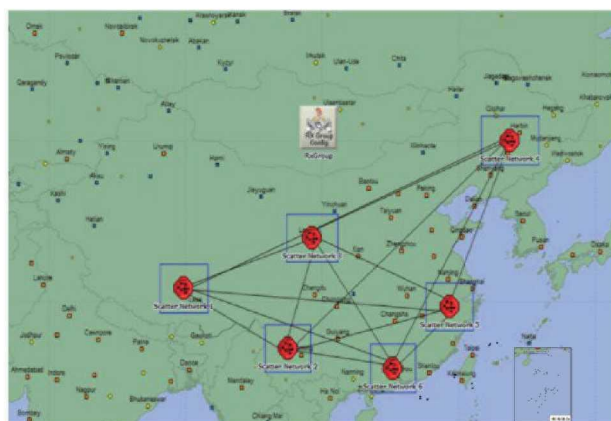


图5 散射网状网络模型

Fig. 5 Scattering mesh network model

3 仿真运行及结果

信息化时代要求信息能够快速、准确、安全地进行传输,故选择的仿真性能指标必须满足信息时代对散射通信及其组网能力的要求。因此,本节通过量化、直观的仿真实验结果来对比网络性能的优劣,重点围绕散射节点构成的不同网络组织形态对通信能力的影响进行仿真,并对网络处理能力占用率、端到端时延两个评价网络性能的指标进行对比分析,进而为散射通信组网提供借鉴与参考。

3.1 仿真参数配置

设定节点采用 CSMA 协议^[16],最大退避时隙数目为 8,退避时隙长度为 1ms;设定节点的收信道最低频点为 4800MHz,散射天线的增益为 38.5dB,天线的角度为 0.01°;节点的发信机最低频点为 4800MHz,发送功率为 1000W;设定节点业务数据,节点在仿真开始的 5s 左右(具体时间服从指数分布)开始业务进程,在 ON 状态停留的时间为 20s,在 OFF 状态停留的时间为 0s。即所有的节点处于发送 ON 状态;设定节点发送数据包的间隔为 0.05s 左右,数据包大小为 1024Bytes。

3.2 仿真结果

(1) 数据处理能力占用率。数据处理能力占用率为单位时间收到的数据包数量,表达式为实际接收数据包数量/额定接收数据包的数量。设定有线模块额定处理数据包的能力为 1000 Packets/s,统计有线模块数据处理能力的占用率。如图 6 所示,为散射节点在链式、星型、网状网络拓扑结构下数据处

理能力的占用率。经仿真结果分析可以看出,在链式网络中散射节点的占用率在 115% 上下浮动;在星型网络中,中心节点的占用率在 97% 上下浮动;在网状网络中,中心节点的占用率在 65% 上下浮动。

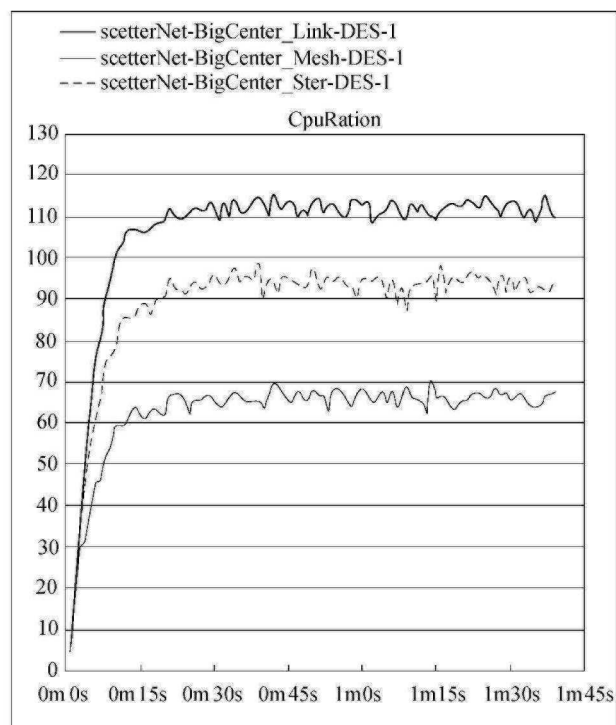


图6 数据处理能力占用率

Fig. 6 Data processing capability usage

由此可见,链式网络已经超负载工作,数据处理能力占有率超出了 20%;星型网络也接近满负荷工作状态,只能允许少量的通信业务量接入;只有网状网的数据处理能力最好,数据处理能力占用率仅达到了 65%,意味着可以接入更多的通信业务量,支持的业务种类也更多。

(2) 端到端时延。端到端时延为数据包从产生到目的节点应用层进行统计时的时延,时延越小网络越畅通。如图 7 所示,可以发现由中心节点构建的 3 种网络结构中,网状网络时延最小为 0.0012s 左右;星型网络时延第二为 0.16s 左右;链式网络时延最大为 0.21s 左右。由此可见,中心节点构建的链式网与星型网端到端时延不相上下,说明利用散射节点组网对链式、星型网络的流畅度影响不大。

3.3 结果分析

通过对仿真结果的分析,可以得出以下结论:随着业务量的不断增加、组网时间的推移,各网络呈现出不同的适应能力。在相同类型节点情况下,不同网络拓扑结构性能:网状网>星型网>链式网。

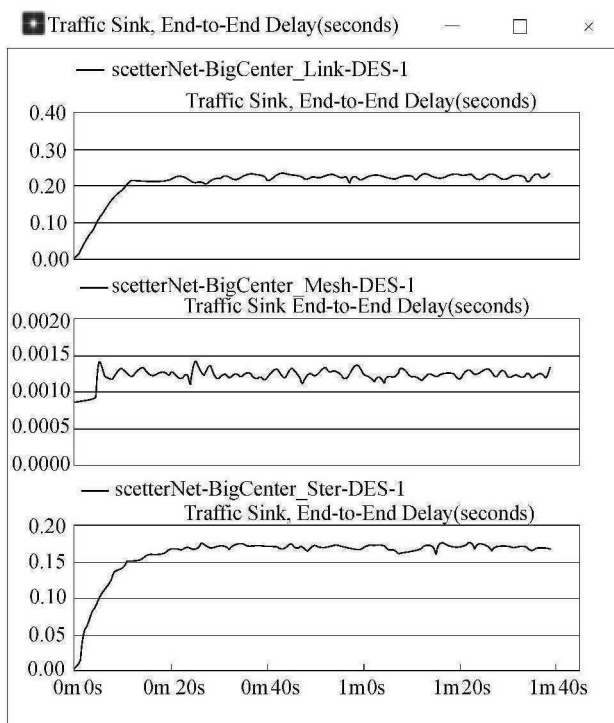


图7 端到端时延

Fig.7 End-to-end delay

因此,在进行散射组网时,如若需要承载较多业务流量,建议使用中心节点构建网状网络结构;如承载的业务流量不多,可使用中心节点构建的链式或者星型网络结构进行组网。通过所得出的数据,为下一步在各类通信活动中提出改进型、优化型的组网形态提供实验依据。

4 结论

本文通过运用 OPNET 仿真软件,设计并构建了包括中心节点和外围节点的 2 类散射通信组网节点模型,基于链式、星型和网状 3 种不同网络组织形态提出了 3 种散射通信网络模型并进行部署编配组网,针对得出的 2 个组网性能参数对这些场景的仿真结果进行分析和比较研究,对于今后筛选出最能

满足散射通信网性能指标的组网方式有着一定的实际参考价值,可为下一阶段深入开展对流层散射通信组网技术体制仿真论证提供参考。

References

- 1 张明高. 对流层散射传播 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- 2 张涛, 刘莹, 张柏昶. 对流层散射通信及其应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2020.
- 3 杜梦杰, 李秀明. 空天防御广域散射通信网构想 [J]. 国防空天信息技术前沿论坛, 2010: 1-5.
- 4 纪晓辉. 散射通信在国外应用现状及发展趋势 [J]. 中国新通信, 2017, 19 (11): 40-41.
- 5 刘俊平, 李妍. 对流层散射通信在美陆军中的应用 [J]. 外军电信动态, 2006 (2): 30-35.
- 6 龚德勇. 军用对流层散射通信 [J]. 现代军事通信, 2005, 13 (3): 19-23.
- 7 李剑, 姜韬. 多向散射通信系统构建及组网形式 [J]. 计算机与网络, 2011 (3): 93-96.
- 8 石华兴. 散射通信接入技术研究与应用 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2013: 3-6.
- 9 孟晨. OPNET 通信仿真开发手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- 10 王娟, 王亚民. OPNET 的关键技术研究 [J]. 实验科学技术, 2007 (6): 49-53.
- 11 龚懋, 侯维岩, 费敏锐. OPNET 网络仿真技术及其应用 [C] // 第八届工业仪表与自动化学术会议. 2008, 29 (1): 68-75.
- 12 李馨, 叶明. OPNET Modeler 网络建模与仿真 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- 13 陈敏. OPNET 网络仿真 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- 14 张默. Dijkstra 最短路径算法的研究 [J]. 数学学习与研究, 2018 (16): 152-153.
- 15 郜林. 基于 OPNET 的通信网仿真 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.
- 16 丁洪伟, 柳虔林, 赵一帆, 等. 随机多址通信系统理论及仿真研究 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.