

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.06.015

# 自组网路由协议在短波广域网中的 OPNET 建模

杨帆<sup>1</sup>, 赵越超<sup>2</sup>

(1. 总装重庆军代局, 重庆 400060; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077)

**摘要:** 为提高短波广域网性能, 建立短波广域网模型并进行性能分析。针对短波通信的特性, 对以优化链路状态路由 (optimized link state routing, OLSR) 为代表的先应式路由协议和以动态源路由 (dynamic source routing, DSR) 为代表的反应式路由协议进行了介绍。利用 OPNET 仿真软件搭建了短波广域网的地形和大气传播模型、节点模型、网络模型, 实现了对 OLSR 和 DSR 路由协议的模拟, 并比较分析了 OLSR 和 DSR 路由协议的性能。仿真结果证明, 每一种路由协议都有各自的优缺点, 应当针对不同应用需求适当地选取路由协议。该研究结果可为短波广域网路由协议的设计提供参考。

**关键词:** 短波广域网; 优化链路状态路由协议; 动态源路由协议; OPNET 网络建模

**中图分类号:** TP393 **文献标志码:** A

## OPNET Modeling of Self-Organizing Net Routing Protocol in Shortwave Wide Area Network

Yang Fan<sup>1</sup>, Zhao Yuechao<sup>2</sup>

(1. PLA Representation Bureau of General Equipment Department in Chongqing, Chongqing 400060, China;

2. College of Telecommunication Engineering, Air Force Engineering University of PLA, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** In order to improving the performances of shortwave wide area network (WAN), establish a shortwave WAN model and carry through performance analysis. Aiming at the characteristics of shortwave communication, introduce two different routing protocols: proactive routing, exemplified by optimized link state routing (OLSR), and reactive routing, exemplified by dynamic source routing (DSR). After that, terrain, propagation, node and network model of shortwave WAN are built over OPNET, and OLSR and DSR are simulated. The performance of OLSR and DSR is analyzed in the simulation comparison. Simulation results show that each routing protocol has its own advantages and disadvantages, and select routing protocols according to different application requirements. The results of research are proposed providing reference for shortwave WAN routing protocols design.

**Keywords:** shortwave WAN; OLSR; DSR; OPNET network modeling

### 0 引言

随着短波通信正逐步实现数字化和网络化, 各国都加大了对短波网络技术的研究。一些短波网络经过不断试验改进, 构成了更大范围的短波广域网 (HFWAN)<sup>[1]</sup>。短波广域网中的每个节点都有一组短波电台。电台所属的单终端或由多终端组成的子网通过短波路由器与电台连接。短波路由器使用短波广域网路由协议负责将终端发出的 IP 数据分组通过短波链路无差错地传至目的节点。电台所属各终端则保持不变, 仍使用标准的 TCP/IP 协议<sup>[2]</sup>。

路由协议是短波广域网的关键技术之一。由于短波的天波信道是时变信道, 传输可靠性差, 节点可能在短时间内无法与其它节点通信, 造成节点加入/退出网络的情况; 此外, 为了降低暴露和被摧毁的可能性, 节点需要移动, 可能导致网络拓扑结构的频繁变化。这些因素使得人工源路由、静态路由不能完全满足短波广域网对路由业务的需求。只有通过引入自适应组网技术才能提升短波通信的自动化程度, 使短波广域网更加灵活、可靠, 并能充分地利用短波信道的资源。因此, 笔者对自组网路由

协议设计思想进行研究, 为短波广域网路由协议研究提供参考。

### 1 自组网路由协议

国际上, 根据路由发现策略的不同将自组网路由协议分为先应式路由协议和反应式路由协议<sup>[3]</sup>。

#### 1.1 先应式路由协议

先应式路由协议又称为表驱动 (table-driven) 路由协议, 路由发现策略为: 节点通过周期性地广播路由信息, 主动发现路由。其优点是当有节点需要通信时, 只需要在路由表中查找到目的节点的路由, 就可以发送数据, 所需的延时很小。缺点是为了使路由表能反映当前拓扑结构的变化, 需要花费大量的开销以维护路由信息。典型的先应式路由协议有优化链路状态路由 (optimized link state routing, OLSR)<sup>[4]</sup>等。

OLSR 协议是基于传统的链路状态算法的路由协议, 主要采用 2 种控制分组: HELLO 分组和拓扑控制 (topology control, TC) 分组。节点之间需要周期性地交换控制信息, 通过分布式计算来更新和

收稿日期: 2011-03-11; 修回日期: 2011-04-06

作者简介: 杨帆 (1984—), 男, 黑龙江人, 助理工程师, 从事通信工程研究。

建立自己的网络拓扑图, 被邻节点选为多点中继 (multiPoint relay, MPR) 的节点需要周期性地向网络广播 TC 分组。TC 分组中附加了把自己选为 MPR 的那些节点 (MPR selector) 的信息。只有 MPR 节点被用作路由选择节点, 非 MPR 节点不参与路由计算。OLSR 还利用 MPR 节点减少网络中广播分组的数量, 非 MPR 节点只对广播分组进行读取和处理, 但不转发。

### 1.2 反应式路由协议

反应式路由协议又称为按需驱动 (on-demand) 路由协议, 其路由发现策略为: 只在源节点有路由需求时才按需启动路由发现过程, 不需要定期更新路由。反应式路由协议的优点是无需周期性地广播路由信息, 减少了网络传输开销。缺点是路由发现机制导致了路由发现时延较大, 难以满足实时性业务的需要。典型的反应式路由协议有动态源路由 (dynamic source routing, DSR) [5] 等。

DSR 协议是最早采用反应式路由思想的路由协议。它的主要特点是采用了源路由机制进行分组转发, 可以避免出现路由环路。DSR 的一个优点是节点可以在缓存中存储多条路由, 这使得源节点在启动路由发现之前可以在缓存中查找是否有匹配的有效的路由可用, 如果存在一条有效路由就不用进行路由发现。这在低移动性的网络中是相当有利的, 这样会使存贮在缓存中的路由的有效期长一些。DSR 的另一个优点是它不需要周期性地广播路由信息, 因此减少了相当大的开销。它的缺点是每个数据分组都携带路径信息, 增加了分组长度。

## 2 OPNET短波网络建模

### 2.1 地形和大气传播模型

无线网络与有线网络最大的区别是无线通信受地形和大气的影 响。如果对于无线信道的仿真不能体现实际信道的特性, 网络的性能和仿真有效性都将受到影响。OPNET Modeler 仿真工具能仿真地形和大气对通信的影响, 可适用于短波网络的仿真。

OPNET Modeler 提供了地形建模模块 (terrain modeling module, TMM) 和传播模型设置功能。地形建模模块允许通过导入含有地形数据的地形图文件来计算地形对无线网络性能的影响。本仿真的地形数据来源于美国农业研究中心联盟——国际农业磋商研究组织 (The CGIAR consortium for spatial information, CGIAR—CSI), 下载地址: <http://srtm.csi.cgiar.org/selection/inputcoord.asp>, 可下载 GeoTif 和 Arcinfo 2 种格式。使用 Global Mapper 软件转换为 OPNET 支持的 USGS DEM 格式。添加地形模

块后的网络模型如图 1。利用 TMM 可以查看网络中两节点之间的地形剖面图, 还允许选择和比较各种传播模型下的信号衰减情况, 如图 2。

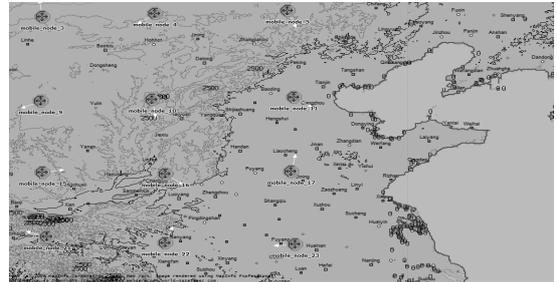


图 1 添加地形模块后的网络模型

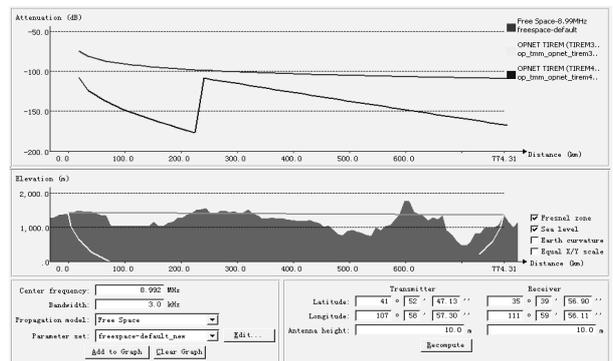


图 2 节点 3 与节点 16 之间的地形剖面及信号衰减分析图

在对地形建模和各种传播模型下的信号衰减情况进行分析后, 再设置传播模型以及传播模型参数。如图 3, 设置传播模型的主要作用是在仿真过程中计算实时信号衰减的情况并反映给管道阶段用于计算链路闭合、接收机功率和背景噪声。可选择的传播模型有国际无线电咨询委员会 (consultative committee of international radio, CCIR) 模型、自由空间 (free space) 模型、HATA 模型、Longley Rice 模型、Walfisch-Ikegami 模型以及 OPNET 为美国军方定制的 TIREM3 和 TIREM4 模型。

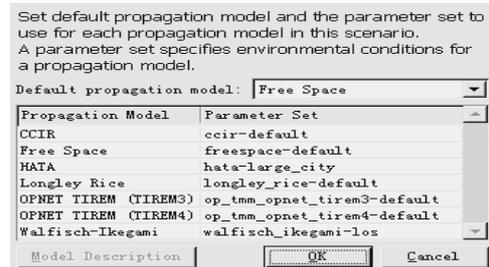


图 3 设置传播模型

### 2.2 节点模型

HF 节点模型按照完整的 TCP/IP 协议栈进行搭建, 包括物理层的无线发射机和接收机、媒体访问控制子层的 MAC 模块、网络层的 IP 模块组、传输层的 UDP 模块和应用层的 Traffic Source 模块等。

1) 无线发射机和接收机。搭建无线发射机和接

收机的主要工作是选择适合的管道阶段<sup>[6]</sup>。由于 OPNET Modeler 自带的管道都是基于视距通信而设计的，而短波通信是超视距通信，所以需要进行必要的修改以体现短波信道的特性。在尽量利用原有管道的基础上，笔者主要对 14 个管道阶段中的传播时延管道进行了修改。

传播时延管道用来计算数据分组在无线信道上的传播时间。原传播时延管道基于视距通信设计，其将发射与接收无线节点之间的距离作为信号传输距离来计算信号传播时间。但短波通信是通过电离层反射的超视距通信，故需要修改信号传输距离的计算方法。又由于短波信号通过电离层的 D 层、E 层、F1 层和 F2 层分别反射形成多径传播，产生了多径时延。所以多径时延应是传播时延的一个组成部分。多径时延是指多条传播路径的传播时延中最大时延与最小时延之差。多径时延随传播距离的不同而动态变化，笔者固定选取传播距离为 1 000 km 左右的多径时延：4 ms 作为本仿真的多径时延。根据以上的理论分析，传播时延的计算方法为：

$$\Delta T = \frac{2 \times \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + h^2}}{C} + \Delta \tau$$

其中， $\Delta T$  为传播时延。 $d$  为发

射与接收无线节点之间的距离，其值通过节点在网络模型中所处的位置计算而得。 $h$  为反射点高度（笔者选用昼夜皆存在的 F2 层作为反射层，反射点高度固定选取 300 km）。 $\Delta \tau$  为多径时延。

由于无线节点可以移动，发射和接收的无线节点之间的距离可能在数据分组传播过程中发生改变。传播时延管道考虑到了这种可能，分别计算传播开始时和结束时的传播时延，并将 2 个传播时延都写入分组的数据传输属性用来取折中。

2) MAC 模块。媒体访问控制 (MAC) 模块参照 OPNET Modeler 自带的 wlan\_mac 进程模型进行修改而得到 hf\_mac 进程模型。由于 wlan\_mac 模块使用 IEEE 的 802.11 WLAN 协议<sup>[7]</sup>。其要求的最大传播时延为 1  $\mu$ s，即节点间的最大距离为 300 m，不符合短波通信的特点。故将 wlan\_mac 对传播时延的限制进行修改，使其能满足短波广域网的要求。

wlan\_mac 进程模型主要是为工作于微波波段的无线网络 MAC 层协议设计的，其最小数据速率为 1 Mbps，高于短波所能提供的数据速率。因此，对 wlan\_mac 模块的数据速率做了修改，使其支持短波的数据速率。

3) 其余模块。节点模型中其余模块使用 OPNET Modeler 自带的进程模型，如 DSR 协议模块使用 dsr\_rte 进程模型、OLSR 协议模块使用 olsr\_rte 进程模型等。

在以上各模块搭建完成的基础上，通过分组流（实线）和统计线（虚线）的连接实现各模块之间的信息交互。完成的短波广域网节点模型如图 4。

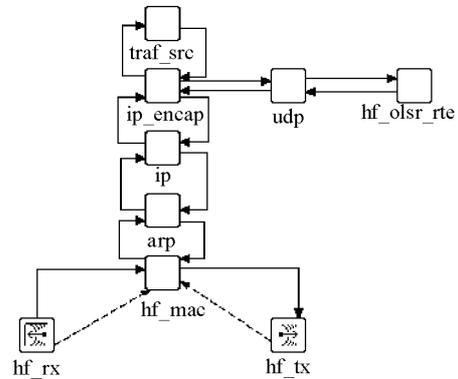


图 4 HF WAN 节点模型

### 2.3 网络模型

在节点模型搭建完成的基础上，搭建的短波广域网网络模型如图 5。网络由 30 个节点组成，均匀地组成一个 6×5 的网状网。OPNET 系统设定当地图比例尺较小、等高线过于密集时，系统将不再显示等高线。虽然在网络模型的地图上看不到等高线，但是地形建模的作用仍然有效。在此基础上，分别对 OLSR 和 DSR 路由协议进行仿真。

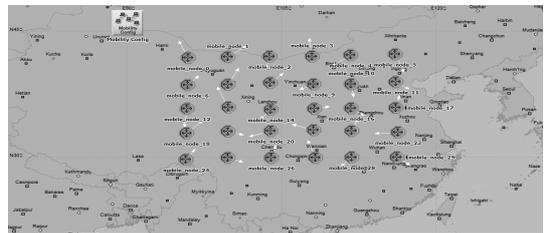


图 5 HF WAN 网络模型

### 2.4 仿真模型参数设置

仿真主要参数设置如表 1、表 2 和表 3。由于主要研究车载或舰载的短波移动节点，故选择 25 m/s（90 km/h）作为最大移动速度符合事实情况。当节点移动速度为 0 m/s 时，可作为对固定短波基站的仿真。仿真中，随机时间产生业务分组、随机指派分组目的节点地址等诸多方面都需用到伪随机数。而伪随机数正是通过随机种子在仿真中产生的。选取不同的随机种子，将会产生不同的伪随机数并对仿真结果造成影响，有时甚至影响很大。为减少这种影响，笔者选取 3 个不同的随机种子分别进行仿真，以 3 个仿真结果的平均作为最后的仿真结果。

表 1 网络模型参数

参数名称	参数值
节点数	30
节点移动模型	矢量 (Vector) 模型
节点移动方向	随机指定
节点上升速度	与地形相关
节点对地速度	0、5、10、15、20、25 m/s

表2 通信业务参数

参数名称	参数值
业务分组发送时间间隔 分布函数	泊松 (Poisson) 分布
业务分组发送平均时间间隔	5 s
业务分组目的节点 IP 地址	随机指派
业务分组格式	固定比特
业务分组长度	1 280 bits
业务起始时间	100 s
业务结束时间	仿真结束时间

表3 仿真运行参数

参数名称	参数值
仿真时间	1 h
随机种子	133、167、197

### 3 仿真结果及性能分析

在不同的节点移动速度条件下, 分别对 OLSR 和 DSR 2种路由协议的路由开销、路由发现时间和端到端平均时延 3个网络性能评估参数进行仿真, 性能比较结果如图7、图8和图9。

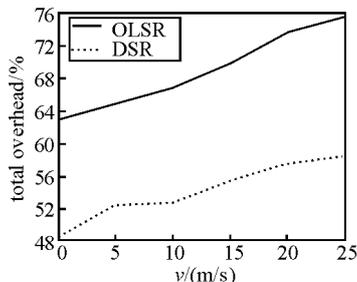


图7 不同节点移动速度时 OLSR 和 DSR 的总开销

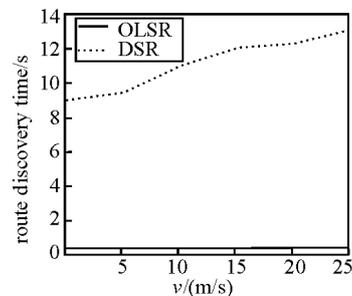


图8 不同节点移动速度时 OLSR 和 DSR 的路由发现时间

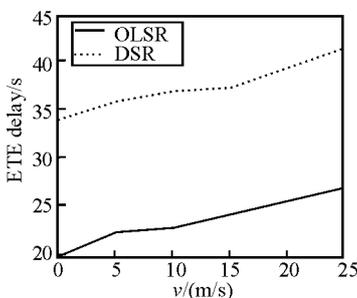


图9 不同节点移动速度时 OLSR 和 DSR 的平均端到端时延

1) 路由开销 (total overhead) 性能分析。2种协议的开销随着节点移动速度的提高略有增大, 并且对速度的变化较为敏感。DSR 由于其反应式的机制, 只有在有路由需求时才启动路由发现, 所以

开销明显小于 OLSR。OLSR 由于其先应式的机制, 周期地广播路由信息, 所以开销较大; 2) 路由发现时间 (route discovery time) 性能分析。DSR 的路由发现时间随节点移动速度的增大有所升高。而 OLSR 的路由发现时间对节点移动速度不敏感。DSR 在有业务分组发送时才按需进行路由发现, 因而路由发现时间明显高于 OLSR。而 OLSR 几乎不需要等待就可以获得发送业务分组的路由信息, 所以路由发现时间很小, 几乎为 0; 3) 端到端平均时延 (ETE delay) 性能分析 OLSR 和 DSR 的平均端到端时延对速度变化较敏感。DSR 的平均端到端时延是 OLSR 的 2 倍左右。

### 4 总结和展望

因短波通信的带宽窄, 故路由开销大的先应式路由协议不适合短波广域网。且短波通信本身的定频和交织等过程时延较大, 如再使用时延高的反应式路由协议将严重影响短波广域网的时延性能。针对短波通信特征, 研究如何综合先应式和反应式路由协议的特点解决短波广域网控制开销大和时延高的问题是短波广域网路由协议的重要研究方向。

仿真中的 MAC 模块参照的是竞争机制的 WLAN 协议, 故网络中数据分组碰撞的概率随网络节点信息强度的增加逐渐增加。已有人针对短波广域网中非竞争型 MAC 协议作了大量研究并提出有效的新协议, 如短波令牌环协议 (HFTP)<sup>[8]</sup>。HFTP 协议是在 IEEE802.5 令牌环协议的基础上, 结合无线令牌环协议 (WTRP)<sup>[9]</sup>, 可根据短波信道的特点进行改进而得到。如在短波广域网节点的 MAC 层使用短波令牌环协议, 将会提高网络性能。

### 5 结束语

理论分析和仿真证明, 每种路由协议各有优缺点。为短波广域网设计万能路由协议并不现实, 只能针对不同应用需求适当选取路由协议。该研究结果可为短波广域网路由协议的设计提供参考。

### 参考文献:

- [1] D.G.Kallgren, J-W Smaal, M.Gerbrands, M.Andriesse. An Architecture for Internet Protocol over HF: Allied High-Frequency Wide-Area Networking using STANAG 5066[R]. NC3A, Netherlands, Nato/PFP UNCLASSIFIED-APPROVED FOR INTERNET TRANSMISSION (RTO-IST-054)
- [2] NATO Standardization Agreement 5066: Profile for High Frequency (HF) Radio Data Communications[S]. version 1.2. NATO Standardization Activity reference 0114-C3/5066, 27 January 2004.
- [3] 王金龙, 王呈贵, 吴启晖, 等. Ad Hoc 移动无线网络[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.