

基于 OPNET 的 Ad Hoc 网络建模与仿真

徐 磊, 李晓辉, 方红雨

(安徽大学电子科学与技术学院, 合肥 230039)

摘 要: 利用 OPNET 软件自带的支持 IEEE802.11 标准的节点模型构建 Ad Hoc 网络模型。合理配置输入输出接口的参数, 使网络达到最佳性能, 并对网络的性能进行比较分析。仿真结果表明, 网络参数之间存在关联性, 网络最优化参数具有唯一性, 通过网络负载与标准负载的比较, 可选择出网络性能最优化状态。

关键词: OPNET 软件; IEEE802.11 标准; Ad Hoc 网络; 最优化

Modeling and Simulation of Ad Hoc Network Based on OPNET

XU Lei, LI Xiao-hui, FANG Hong-yu

(College of Electronic Science and Technology, Anhui University, Hefei 230039)

【Abstract】 Ad Hoc network model is constructed by using the node model of OPNET software which supports the IEEE802.11 standards. The network achieves the best performance by configuring the parameters of the interface of input and output reasonable, and the comparative analysis to the network performance is carried on. Simulation results show that relationships existing among network parameters, and the network optimization parameters have uniqueness, network performance optimization state can be picked out by comparing the network load and standard load.

【Key words】 OPNET software; IEEE802.11 standard; Ad Hoc network; optimization

Ad Hoc 网络是由一组静止或移动的节点组成的自主网络, 它不依赖于现有的网络基础设施并采用分布式管理。网络中的所有节点都具有路由器的功能, 负责发现和维持到其他节点的路由, 并向邻居节点发射或转发分组, 因此, Ad Hoc 网络通常是一种多跳网络。IEEE802.11 标准定义的 Ad Hoc 网络实际上是独立的基本服务集 (Independent Basic Service Set, IBSS) 的别名。IBSS 是指由通过无线媒质, 能够互相进行直接通信的节点组成的网络, 它是一种没有接入点 (Access Point, AP) 的单跳的 Ad Hoc 网络^[1]。本文研究的 Ad Hoc 网络为单跳 Ad Hoc 网络。

1 基于 OPNET 仿真模型的实现

1.1 OPNET 仿真建模机制

OPNET 是一个功能强大的仿真软件, 支持各类通信网络和分布式系统的模拟和仿真, 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、通信链路和各层网络协议实现精确建模。

OPNET 采用基于包的建模机制, 模拟实际物理网络中包的流动, 包括在网络设备间的流动和网络设备内部的处理过程。OPNET 采用离散事件驱动的模拟机制, 其中, 事件是指网络状态的变化, 即只有网络状态发生变化时, 模拟机才工作, 网络状态不发生变化的时间段不执行任何模拟计算, 即被跳过。

OPNET 提供了良好的开发接口, 能够根据网络环境和协议的需要建造不同的仿真模型, 其仿真模型分 3 层实现。最上层为网络层, 反映网络拓扑结构; 中间层为节点层, 由相应的协议模型构成, 反映设备特性; 最底层为进程模型, 以有限状态机来描述。3 层模型和实际的网络、设备、协议完全对应, 全面反映了网络的相关性^[2]。

1.2 网络模型

网络由 N 个移动节点组成, 依次为 $0, 1, \dots, N-1$, 随机地分布在 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 的区域中, 通过无线链路通信。网络模型如图 1 所示。

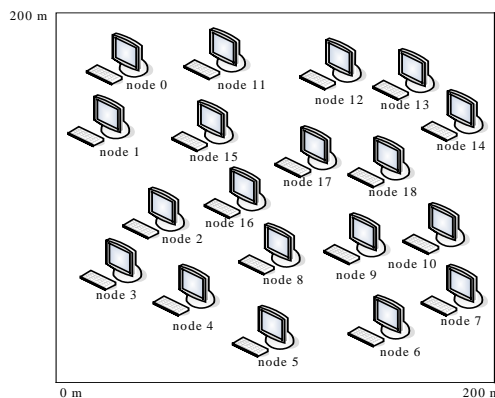


图 1 网络模型

移动站点是随机分布的, 并且所有的移动站点的配置都是相同的。根据 IEEE802.11 标准指定的内容, 移动站间的空中传播时间为 $1\ \mu\text{s}$, 从而计算出最大通信范围为 300 m , 在此网络场景中, 任何移动站点之间可以直接通信, 因此, 不会产生暴露终端和隐藏终端的问题^[3-4]。

1.3 节点模型

网络移动站点的地址 (即 MAC 地址) 是随机分布的, 所有

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60572129)

作者简介: 徐 磊 (1984 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 多媒体通信; 李晓辉, 教授、博士; 方红雨, 高级工程师

收稿日期: 2008-05-20 **E-mail:** xulei19840604@163.com

移动节点都具有相同的节点模型，如图 2 所示。

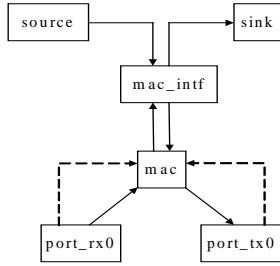


图 2 移动节点模型

节点模型由以下进程模块组成：

(1)source 模块：1 个 bursty source 和 1 个 sink 进程模块用来代替高层模块。Bursty source 进程模仿 On-Off 业务产生模式，数据分组在 On 状态期间产生，分组一旦产生，立即发送到下层。在此模块属性中可设定分组平均大小、分组到达间隔以及 On 或者 Off 状态的持续时间。

(2)sink 模块：接收来自 mac_intf 模块处理过的分组，记录各种端到端统计量，然后废弃该分组。

(3)mac 模块：用来仿真链路层随机接入信道协议，此次建模所采用的信道接入协议为 IEEE802.11 标准定义的 DCF 协议，采用的访问机制为基本访问机制(CSMA/CA)。

(4)mac_intf 模块：此接口模块存在于 MAC 层和高层之间，其进程从高层接收数据并为其分配随机的目的地址，并将地址信息送达 MAC 层。

(5)无线接收机和发信机模块：定义物理层模型，模拟天线在无线信道上发送和接收分组，天线一般采用无方向性模式。

1.4 进程模型

在节点模型中，每个进程模块由一个进程模型实现，可根据系统方案的不同而选用不同的进程模型。每个进程模型都是一个用 C 代码实现的有限状态机(FSM)。IEEE802.11 标准定义的 MAC 协议有限状态机结构见图 3。

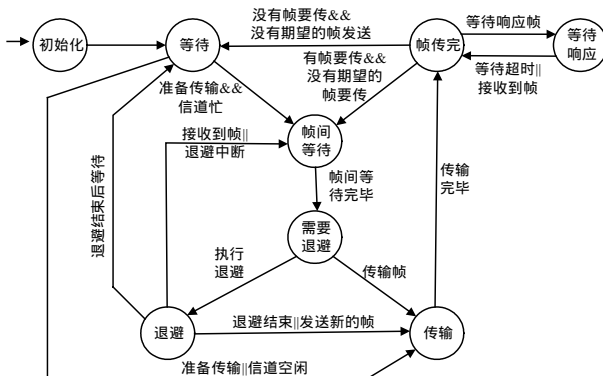


图 3 IEEE802.11 标准定义的 MAC 协议有限状态机结构

1.5 MAC 输入与输出接口

MAC 输入与输出接口的部分参数的配置^[5]如表 1 所示。

表 1 MAC 的输入接口参数配置

RTs 门限	拆分门限	数据率 /(Mb·s ⁻¹)	物理特征 的选择	信道带宽 /kHz	缓存大小 /bit
None	None	1	跳频	1 000	256 000

2 仿真结果及分析

在仿真过程中，业务的产生采用 On-Off 模式，高层包在 MAC 层不拆分。信道接入延时是分组在高层队列停留的时

间，也即从高层分组到达队列的时刻和移出队列被传输时刻之间的时间间隔。网络的端对端延时基本上是由竞争信道引起的，因此，可将信道接入延时直接看作端到端延时。仿真运行时间为 3 min，之后各网络性能参数曲线基本收敛，表示网络性能趋于稳定。

考察分组平均大小、分组到达间隔和移动站点数这 3 个网络参数的配置对网络性能的影响以及这 3 个参数相互之间的关联性，仿真分析如下：

(1)当移动站点数目为 15，分组到达间隔为 0.18 s 时，改变分组平均大小。仿真结果如表 2 所示。

表 2 不同分组平均大小情况下的网络性能参数

分组平均大小/Byte	数据丢失率 /(Kb·s ⁻¹)	端到端 延时/s	平均吞吐量 /(Kb·s ⁻¹)	网络负载 /(Kb·s ⁻¹)
1 200	99.016	2.320 5	679.448	689.454
1 150	70.884	2.106 6	673.479	685.353
1 100	39.308	1.808 2	672.444	683.358
1 050	2.969	0.423 0	685.104	685.952
1 000	0.000	0.050 4	655.398	655.398
950	0.000	0.013 6	622.585	622.585
900	0.000	0.010 6	589.858	589.858
700	0.000	0.008 1	524.139	524.139

通过对表 2 的比较分析，可得出以下结论：

1)在此仿真平台的情况下，网络最大的平均吞吐量为 685.104 Kb/s。

2)随着分组平均大小逐渐增大，平均数据丢失率和平均端到端延时一直呈增长趋势，网络负载和平均吞吐量逐渐增大。当分组大小达到 1 000 Byte 时，网络各种性能指标基本达到最优，随着分组平均大小的增大，网络性能急剧下降。

3)将网络达到最优性能时的网络负载 655.398 Kb/s 作为标准负载，并与不同分组时的网络负载进行比较，可见，当网络负载小于标准负载时，网络性能未达到最优；当网络负载与标准负载相等时，则网络性能达到最优；当网络负载大于标准负载时，网络的性能急剧下降。

(2)当移动站点为 15，分组平均大小为 1 000 Byte 时，改变分组到达间隔。仿真结果如表 3 所示。

表 3 不同分组到达间隔下的网络性能参数

分组到达间隔/s	数据丢失率 /(Kb·s ⁻¹)	端到端 延时/s	平均吞吐量 /(Kb·s ⁻¹)	网络负载 /(Kb·s ⁻¹)
0.15	110.796	3.111 5	662.132	677.575
0.16	62.536	2.258 0	667.429	676.588
0.17	15.578	1.175 3	674.702	679.102
0.18	0.000	0.050 4	655.398	655.398
0.19	0.000	0.020 2	620.785	620.785
0.20	0.000	0.005 7	589.898	589.898

通过对表 3 的比较分析，可得出以下结论：

1)在此仿真平台的情况下，网络最大的平均吞吐量为 674.702 Kb/s。

2)随着分组到达间隔的逐渐减小，平均数据丢失率和平均端到端延时呈增长趋势，网络负载和平均吞吐量逐渐增大。当分组到达间隔达到 0.18 s 时，网络各种性能指标基本达到最优，随着分组到达间隔的继续减小，网络性能急剧下降。

3)将网络达到最优性能时的网络负载 655.398 Kb/s 作为标准负载，并与不同分组到达间隔时的网络负载进行比较，可见，当网络负载小于标准负载时，网络性能未达到最优；当网络负载与标准负载相等时，网络性能达到最优；当网络负载大于标准负载时，网络的性能急剧下降。

(3)当分组平均大小为 1 000 Byte，分组到达间隔为 0.18 s 时，改变网络移动站点个数。仿真结果如表 4 所示。

表 4 在不同移动站点个数下的网络性能参数

移动站个数	数据丢失率/(Kb·s ⁻¹)	端到端延时/s	平均吞吐量/(Kb·s ⁻¹)	网络负载/(Kb·s ⁻¹)
19	173.108	4.593 7	638.877	660.246
18	127.452	3.953 0	642.020	662.626
17	78.167	2.769 4	652.435	667.744
16	22.805	1.476 2	669.251	677.777
15	0.000	0.050 4	655.398	655.398
14	0.000	0.012 5	611.582	611.582
13	0.000	0.004 5	567.811	567.811

通过对表 4 的比较分析,可得出以下结论:

1)在此仿真平台的情况下,网络最大的平均吞吐量为 669.251 Kb/s。

2)随着移动站点数目的逐渐增大,平均数据丢失率和平均端到端延时一直呈增长趋势,网络负载和平均吞吐量逐渐增大。当移动站点的数目达到 15 时,网络的各种性能指标基本达到最优,随着移动终端数目的继续增大,网络性能急剧下降。

3)将网络达到最优性能时的网络负载 655.398 Kb/s 作为标准负载,并与不同移动站点数目时的网络负载进行比较,可以看出,当网络负载小于标准负载时,网络性能未达到最优;当网络负载与标准负载相等时,则网络性能达到最优;当网络负载大于标准负载时,网络性能急剧下降。

通过上面的 3 种情况的仿真,均得到网络的最大平均吞吐量,最大吞吐量的值相差不大,造成这种现象的原因是网络负载的满载及平均端到端延时和平均数据丢失率的增大。

通过对网络参数的调节从而改变网络负载可以使网络达到最优的性能,其最优化网络性能参数仿真图形分别如图 4~图 6 所示,并可得到该仿真平台达到网络性能最优时的具有相对唯一性的网络参数,即当网络移动站点个数为 15,分组平均大小为 1 000 Byte,分组到达间隔为 0.18 s 时,网络性能达到最优。从网络性能达到最优开始,数据丢失率和端到端延时的性能开始急剧下降。根据文献[6]给出的业务总负载计算式,可见增大分组平均大小、增大网络移动站点的个数或减小分组到达间隔均可增大业务总负载,当业务总负载过大,移动站不能及时竞争到有效信道资源,从而造成高层数据分组队列积压过多分组,导致数据丢失;同时分组的积压使分组在等待服务的时间增大,造成分组的端对端延时增大。

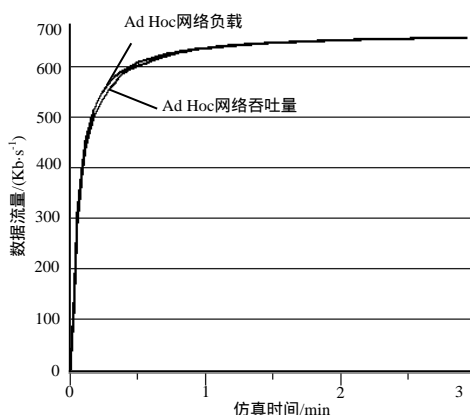


图 4 网络负载和吞吐量比较

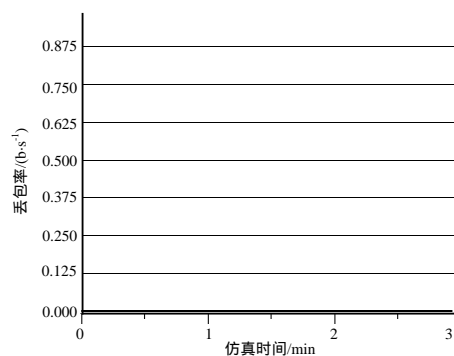


图 5 数据丢失率

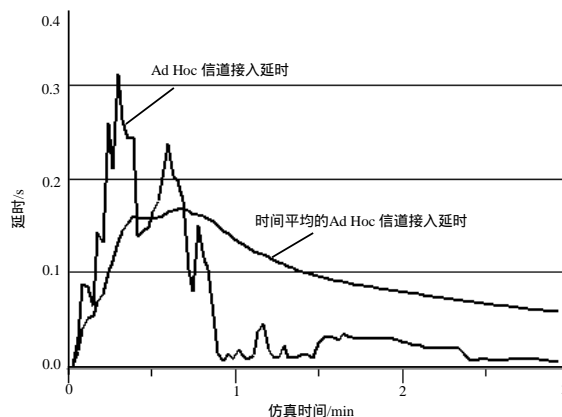


图 6 信道接入延时

3 结束语

本文使用 OPNET 自带的支持 IEEE802.11 标准的节点模型建立了单跳 Ad Hoc 网络仿真模型,通过多组仿真和数学分析,证实通过调节网络参数使得网络性能达到最优化的可行性,揭示了网络参数之间的关联性,指出网络最优化参数的唯一性,并提出通过网络负载与标准负载的比较可选择出网络性能最优化状态的方法。通过对 Ad Hoc 网络的建模及其网络性能的分析,加深了对 Ad Hoc 网络的认识,为 Ad Hoc 网络的进一步开发研究提供了参考。

参考文献

- [1] IEEE Std. 802.11-1999 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 1999.
- [2] 王 磊, 张慧慧, 李开生, 等. 信道接入协议的网络仿真技术研究[J]. 计算机应用, 2006, 26(8): 1782-1784.
- [3] Fullmer C L, Garcia-Luna-Aceves J J. Solutions to Hidden Terminal Problems in Wireless Networks[J]. Computer Communication Review, 1997, 27(4): 39-49.
- [4] 刘乃安. 无线局域网(WLAN)——原理、技术与应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [5] 陈 敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [6] 陈 敏, 韦 岗. IEEE802.11 无线局域网 OPNET 建模与性能测试[J]. 计算机工程, 2004, 30(21): 18-20.