基于仿真框架的移动 Ad Hoc 网络*

孔莉芳,孔令东
(中国矿业大学 信电学院,江苏 徐州　221008)

摘　要:利用 OPNET,提出用一个通用的仿真框架来测试不同的 MAC 层、网络层和节点移动性的移动 Ad Hoc 网络路由效率。在该层次型整体框架下,可以设计不同的节点移动模式、媒体接入方法和路由方案,比较端到端统计量(端到端时延、吞吐量和效率),以筛选最有效、最合适的解决方案。

关键词:移动 Ad Hoc 网络(MANET);OPNET;仿真框架
中图分类号:TP393　　文献标识码:A　　文章编号:1671 - 5322(2007)01 - 0001 - 05

1　Ad Hoc 简介

1.1　Ad Hoc 网络的概念

Ad Hoc,又称为特别模式(Ad Hoc mode),指的是位于两个或更多无线网络适配器间的一种短期的无线网络框架,且无需使用接入点(access point)。换句话说,Ad Hoc 网络下的计算机能够直接的相互通信。当你需要快速地交易文件但没有办法连接两台或更多计算机时,Ad Hoc 网络随手可得。要使一个 Ad Hoc 网络工作,需要对网络中的每台计算机都安装一个无线网卡,且将它们均设置为特别模式[1]。

1.2　Ad Hoc 网络的特点

Ad Hoc 网络是一种特殊的无线移动网络。网络中所有结点的地位平等,无需设置任何的中心控制结点。网络中的结点不仅具有普通移动终端所需的功能,而且具有报文转发能力。与普通的移动网络和固定网络相比,它具有以下特点。

(1)无中心　Ad Hoc 网络没有严格的控制中心。所有结点的地位平等,即是一个对等式网络。结点可以随时加入和离开网络。任何结点的故障不会影响整个网络的运行,具有很强的抗毁性。

(2)自组织　网络的布设或展开无需依赖于任何预设的网络设施。结点通过分层协议和分布式算法协调各自的行为,结点开机后就可以快速、自动地组成一个独立的网络。

(3)多跳路由　当结点要与其覆盖范围之外的结点进行通信时,需要中间结点的多跳转发。与固定网络的多跳不同,Ad Hoc 网络中的多跳路由是由普通的网络结点完成的,而不是由专用的路由设备(如路由器)完成的。

(4)动态拓扑　Ad Hoc 网络是一个动态的网络。网络结点可以随处移动,随时开机和关机,这些都会使网络的拓扑结构随时发生变化。这些特点使得 Ad Hoc 网络在体系结构、网络组织、协议设计等方面都与普通的蜂窝移动通信网络和固定通信网络有着显著的区别[2,3]。

1.3　Ad Hoc 网络的应用领域

由于 Ad Hoc 网络的特殊性,它的应用领域与普通的通信网络有着显著的区别。它适合被用于无法或不便预先铺设网络设施的场合并需快速自动组网的场合等。针对 Ad Hoc 网络的研究是因国事应用而发起的。因此,军事应用仍是 Ad Hoc 网络的主要应用领域,但是民用方面,Ad Hoc 网络也有非常广泛的应用前景。它的应用场合主要

* 收稿日期:2006 - 12 - 10
作者简介:孔莉芳(1972 -),女,副教授,博士研究生,主要研究方向为算法分析、图象压缩、神经网络、信号处理等。
万方数据

有以下几类。

(1)军事应用　军事应用是 Ad Hoc 网络技术的主要应用领域。因其特有的无需架设网络设施、可快速展开、抗毁性强等特点,它是数字人战场通信的首选技术。Ad Hoc 网络技术已经成为美军战术互联网的核心技术。美军的近期数字电台和无线互联网控制器等主要通信装备都使用了 Ad Hoc 网络技术。

(2)传感器网络　传感器网络是 Ad Hoc 网络技术的另一大应用领域。对于很多应用场合来说传感器网络只能使用无线通信技术。而考虑到体积和节能等因素,传感器的发射功率不可能很大。使用 Ad Hoc 网络实现多跳通信是非常实用的解决方法。分散在各处的传感器组成 Ad Hoc 网络,可以实现传感器之间和与控制中心之间的通信。这在爆炸残留物检测等领域具有非常广阔的应用前景。

(3)紧急和临时场合　在发生了地震、水灾、强热带风暴或遭受其他灾难打击后,固定的通信网络设施(如有线通信网络、蜂窝移动通信网络的基站等网络设施、卫星通信地球站以及微波接力站等)可能被全部摧毁或无法正常工作,对于抢险救灾来说,这时就需要 Ad Hoc 网络这种不依赖任何固定网络设施又能快速布设的 自组织网络技术。类似地,处于边远或偏僻野外地区时,同样无法依赖固定或预设的网络设施进行通信。Ad Hoc 网络技术的独立组网能力和自组织特点,是这些场合通信的最佳选择。

(4)个人通信　个人局域网(PAN, Personal Area Network)是 Ad Hoc 网络技术的另一应用领域。不仅可用于实现 PDA、手机、手提电脑等个人电子通信设备之间的通信,还可用于个人局域网之间的多跳通信。蓝牙技术中的超网(Scatternet)就是一个典型的例子。

与移动通信系统的结合:Ad Hoc 网络还可以与蜂窝移动通信系统相结合,利用移动台的多跳转发能力扩大蜂窝移动通信系统的覆盖范围、均衡相邻小区的业务、提高小区边缘的数据速率等。

在实际应用中,Ad Hoc 网络除了可以单独组网实现局部的通信外,它可以作为末端子网通过接入点接入其他固定或移动通信网络,与 Ad Hoc 网络以外的主机进行通信。因此,Ad Hoc 网络也可以作为各种通信网络的无线接入手段之一。

开发 MANET 路由协议是当前 MANET 领域的研究热点。在 MANET 路由协议的研究与开发过程中,建模与仿真是评估不同方案对系统性能影响的一个非常重要的手段。国外已有很多研究机构对提交的路由协议草案进行建模与仿真,以比较它们的性能。但这些仿真都是针对特定路由协议模型进行的,还没有一个包括 MANET 环境下的网络层、MAC 层、无线信道模型以及节点移动性模型的整体框架[4]。

本文利用 OPNET 仿真平台,提出一种在不同节点移动性和 MAC 协议条件下 MANET 执行路由的通用仿真框架。对 MANET 路由性能的评价有多种不同的度量指标,框架给出了从多种度量角度评估不同路由方案的机制。

2　路由方法

目前 IETF 的 MANET 工作组已经提出许多协议草案,这些协议都是为适应 MANET 网络典型的局限性而提出的,包括高功耗、低带宽和高误码率。根据路由发现的策略,这些路由协议一般可以分为两大类[5] 表驱动路由和源按需路由。

(1)表驱动路由　也称为主动路由,每个节点需要维护一个或多个路由表来保存全网一致的路由信息,节点通过周期性广播路由信息分组,交换路由信息,主动发现路由,在给定链路费用度量的前提下选用最短路由。目前提交的协议草案主要有 DSDV, WRP, CGSR 等。

(2)源按需路由　节点不必维护去往其它节点的路由,仅在需要时由源节点启动路由发现进程来创建路由。一旦路由建立,就由某种形式的路由维护过程维护,直到沿源节点发出的每条路径上的任一节点不可达,或不再需要该路由。提交的草案主要有 AODV, DSR, TORA, ABR 等。

表驱动路由是一种先应式路由方案,而源按需路由是一种反应式路由方案,两种方法在路由效率、系统开销等方面各有优缺点,因此又有将两者相结合的混合型路由方法,如 ZRP 协议。ZRP 协议在区域内采用主动路由,以提高效率 在区域间采用按需路由,以减少开销。它综合了源按需路由和表驱动路由两者的优点。在实际工程应用上,往往更多的是采用混合型的路由方法。在我们的整体仿真框架中,可以研究在不同网络环境下上述路由方法的应用,通过多种度量来比较它们的性能。本框架易于定义和测试不同方法下多种链路费用。

万方数据

3　仿真框架

由于对 MANET 的不同层次还没有最终的标准,本文框架提供了一种便利的方法,可在不同层次上测试和比较各种不同的方案。OPNET 是 OPNET 公司开发的商用仿真平台,支持各类通信网络和分发系统的模拟与仿真,通过离散事件仿真来分析模型化系统的行为和性能。利用 OPNET,我们将 MANET 建模分为 3 级。第 1 级为网络级,主要是网络拓扑的描述;第 2 级是组成该网络拓扑的各类节点模型的描述。一个节点模型类似一个多进程的堆栈。第 3 级即最后一级是组成节点模型的各个进程的描述。这些进程模型被设计成用 C 代码实现的有限状态机。

3.1　网络模型

网络由 N 个移动节点组成,依次为 0,1,2,…, $N-1$,随机地分布在 $X \times Y$ 的矩形区域中,通过无线链路通信。

3.2　节点模型

网络中的每个节点由它的 IP 地址唯一标识。所有节点都具有相同的节点模型,其模型如图 1 所示。节点模型试图重现 OSI 协议栈,只是为强调路由实现而将某些层次合理地省略了,因为开发仿真框架的主要目的是为 MANET 路由实现提供试验床。节点模型由以下进程模块组成:

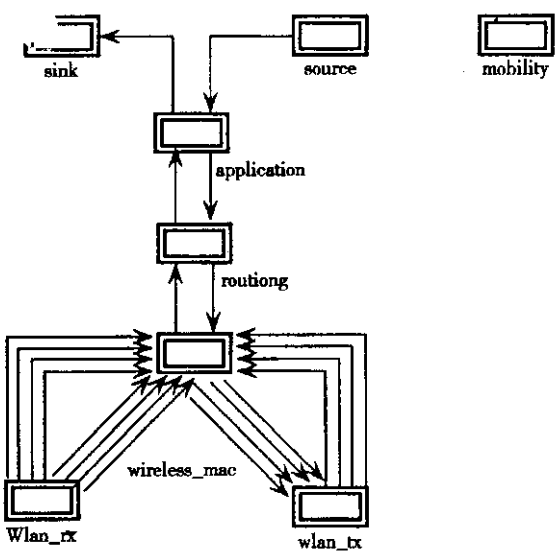

图 1　移动节点模型

Fig. 1　Mobile Nodal Models

(1) source 模块　产生数据业务流,根据设定的分组大小和到达间隔分布产生分组。到达间隔时间可以在仿真期间选择。分组一旦产生,立即发送到下层(application);为简单起见,我们约定网络拓扑只随节点移动而变化。

(2) application 模块　为上层引入的分组设置一个随机的目的地址,根据内部通信接口(ICI)格式向路由层产生一个服务请求,分组与 ICI 一起被发送到 routing 模块;

(3) routing 模块　节点模型的核心,接收来自应用层的 PDU,执行路由算法。各类不同的路由算法、不同的链路费用度量都可以在该层次上进行测试和比较;

(4) wireless – mac 模块　用来仿真链路层随机接入信道协议,可以测试 CSMA/CD、ALOHA、FAMA 或者 TDMA 等多种 MAC 层协议。

(5) wlan – rx + wlan – tx 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。

(6) sink 模块　接收来自 application 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。

(7) mobility 模块　根据预先定义的移动模式改变当前节点的位置,来执行节点的移动。

3.3　进程模型

节点模型中每个进程模块是由一个进程模型来实现的,每个进程模块可以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)。

为了测试和评价不同的节点移动模式、媒体接入方法和路由设计方案下的系统整体性能,MANET 仿真框架主要关注的进程模型有路由进程模型、物理层与链路层模型,以及节点移动模型。第 4 节将结合具体例子对这几种主要进程模型的实现进行详细的描述。

4　实现示例

本节具体给出上节提出的 MANET 通用仿真框架的一个简单实现,并给出仿真结果。网络由在 1 000 m × 500 m 区域内的 16 个无线移动节点组成。所有节点都是平等的,随机地分布在该区域中。下面就节点模型中的 routing 模块、wireless – mac 模块、wlan – rx 和 wlan – tx 模块,以及 mobility 模块选择的相应进程模型,给出各进程模型的实现。

4.1　路由进程模型

这里以典型的按需路由协议 AODV(Ad –

万方数据

Hoc On – demand Distance Vector)为例,描述路由算法的建模与仿真。AODV是专门为MANET应用而设计,主要特点是采用DSDV算法的逐跳路由方式、序号机制和周期性广播信标,并结合DSR算法中的按需路由机制。协议的实现主要分为路由发现、路由维护两个阶段。路由发现:源节点向邻居广播一个路由请求包(RREQ),相邻节点再向各自的邻居转发,直到找到目的节点或有"足够新"的一条路由的某个中间节点;转发RREQ时,中间节点记下收到的第一个RREQ包的邻居地址,以建立反向路径;RREQ到达目的节点或具有足够新路由的中间节点后,目的节点/中间节点向首次收到RREQ的邻居单播一个路由应答包(RREP)来响应。RREP经由反向路径往回发送,该路径上的节点都在各自的路由表中建立起前向路由记录,指向发出RREP的节点。路由维护:如果源节点发生移动,可以重新启动路由发现进程寻找新路由;如果路径的中间节点发生移动,则由其上游节点向自己的每个活动上游节点广播链路失败通知(度量为无穷大的RREP),以通知它们删除该部分路由。这些节点依次向上游节点发送该链路失败通知消息,直到源节点收到该消息,如果仍需要路由,源节点会重新启动至目的节点的路由发现进程。该协议的一个选项是Hello消息的使用,节点定期本地广播Hello消息,用来维护节点的本地连通性。但Hello消息不是必需的,节点可以利用多种技术,包括监听数据包的重传,来保证下一跳是否仍然可达。Hello消息可以列出移动节点可达的其它节点,从而对网络连通性能有更多的了解。本文中路由进程模型根据向IETF提交的AODV第9版草案draft – ietf – manet – aodv – 09. txt[2]来开发。

4.2 物理层与链路层模型

OPNET支持对物理层和MAC层的简单仿真,它提供了一些标准模型,开发者也可以根据需要进行建模与仿真,开发所需的物理层和MAC层模型。我们以跳频方式、BPSK调制信号、简单瑞利衰落信道为例。物理层由一个发射机和一个接收机组成,具有电台传输模型、无线信道模型和接口模型。这些模型是在由OPNET提供的C源码中定义的[2]。

模型中的链路层是采用分布式协调函数(DCF)的IEEE802.11协议模型。我们对OPNET开发的无线局域网模型Wireless – Lan(802.11)进行了一些改进,消除与节点移动的相关性,从而更增强了该模型的独立性。

每个节点都有一个或多个无线网络接口,所有接口都具有相同的类型,通过一条定义的物理信道相连。当一个网络接口发送分组时,它将分组传输到适当的物理信道对象。该对象计算从发送节点到信道上的每个节点的传输时延,并为每个节点安排一个分组接收事件。这个事件通知网络接口,新分组的第一个比特已经到达。这时,被接收的分组功率将与两个不同的值进行比较:载波侦听门限,接收门限。在它传送到MAC层之前,如果接收信号的功率低于载波侦听门限,那么分组将被认为是噪声;如果接收信号的功率高于载波侦听门限,接收门限,那么分组被标为错误分组;否则,作为正确分组送到MAC层。一旦MAC层接收到一个分组,它将检查接收状态是否处于"空闲"。如果忙,当正在处理的分组的接收功率比到达的新分组的功率高出某个阈值(这里设为10DB)时,将丢弃到达的分组,允许接口继续当前的工作;否则,则认为发生冲突。如果MAC层空闲,当接收的分组从网络接口向上提交时,它将简单的计算分组的传输时间,为自己提供一个"分组接收完毕"的事件。当这个事件发生时,MAC层证实分组无误,进行目的地址过滤,然后提交协议栈。

4.3 节点移动模型

移动进程模型主要负责模拟节点的移动。目前已提出了多种用户移动性模型,这里考虑随机waypoint模型[6]。节点首先在网络空间中计算一个随机目的点,然后以随机选择的恒定速度向该点移动。到达该点后,节点暂停一个等待时间,再计算下一个目的点。节点 i 的位置记为 $P_i = |x_i - y_i|$;记所有节点的相对距离为:$D = \sum_{i}^{N}\sum_{j\neq i}^{N}|P_i - P_j|$;在每个节点发生移动后,计算一次相对距离。当节点 i 移动到位置 P'_i 后,相对距离为:$D' = \sum_{i}^{N}\sum_{j\neq i}^{N}|P'_i - P_j|$;在仿真时间Sim – T 内,总的相对距离为:$\text{Total_}D = \sum_{i}\triangle D = \sum_{i}|D' - D|$ 则移动性因子(Mobility Factor)可表示为:$\text{Mobility_Factor} = \frac{\text{Total_}D}{\text{Sim_}T}$ 对所有节点规范化后的Mobility Factor为:

$$\text{Mobility_Factor} = \frac{\text{Mobility_Factor}}{N} =$$

万方数据

$$\frac{\text{Total_}D}{\text{Sim_}T \times N} = \frac{\sum_i |D' - D|}{\text{Sim_}T \times N}$$

在仿真模型中,节点移动速度在[0,Max - Speed]之间服从均匀分布。

4.4　性能度量与仿真结果

考虑两种节点最大移动速度:20 m/s 和 100 m/s;两种节点暂停时间:60 s 和 120 s,进行不同的移动性条件下协议性能的比较。每个节点分组业务流的到达时间间隔服从指数分布,参数设为 1.0 s。节点通信距离为 200 m。仿真时间设为 600 s。为了评价 MANET 不同路由协议的性能,我们需要考虑不同的定量度量。当然,MANET 的特点也要求我们必须考虑多种评价因素。在这个整体仿真框架中,我们计算以下统计量:

- 端到端时延(Delay)
- 端到端吞吐量(Throughout)
- 效率(Efficiency)
- 平均跳数(Average Hops)
- 开销(Overhead)

对于不同的移动性条件,仿真结果如图 2、图 3、图 4、图 5 所示。图 2 表明节点移动性越大,分组平均的端到端时延越大。这是由于网络拓扑变化越大,路由会发生变化或重新发现,从而使分组的转发时间变长。图 3 表明随着节点移动性的增加,端到端吞吐量下降。这是由于节点的频繁移动引起网络拓扑变化,网络需用更多时间来寻找路由、竞争信道。图 4 表明路由效率随节点移动性的增加而急剧下降,这也符合理论分析和实际情况,节点频繁移动会产生路由中断和丢包。图 5 反映的是在不同的本地连通性支持方案下的效率和归一化开销情况。如第 4 节所述,可采用多种方案来支持本地连通性。这里采用四种方案进行比较:不执行任何连通性管理(None)、MAC 层的通知(MAC)、用 Hello 消息(Hello),以及既使用 Hello 消息又使用 MAC 层通知(Hello + MAC)。显然,本地连通性管理的使用减少分组的丢弃,有助于路由效率的提高,但也增加了开销。在方案设计时,就需要根据应用环境的需求进行取舍。

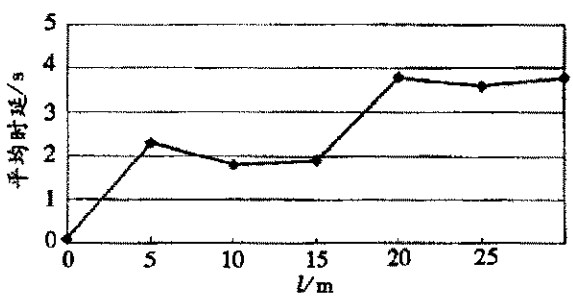

图 2　平均时延 vs 移动性

Fig. 2　Delay vs Mobility

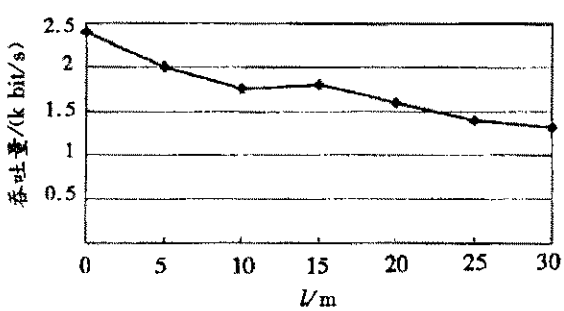

图 3　吞吐量 vs 移动性

Fig. 3　Throughout vs Mobility

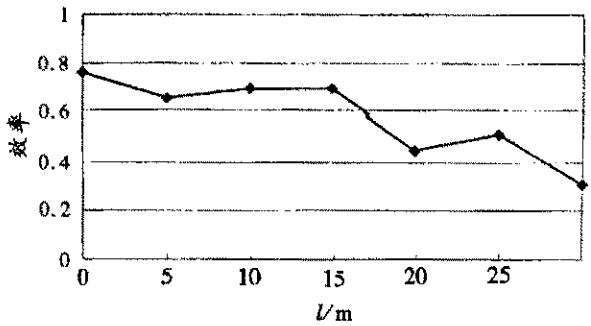

图 4　效率 vs 移动性

Fig. 4　Efficiency vs Mobility

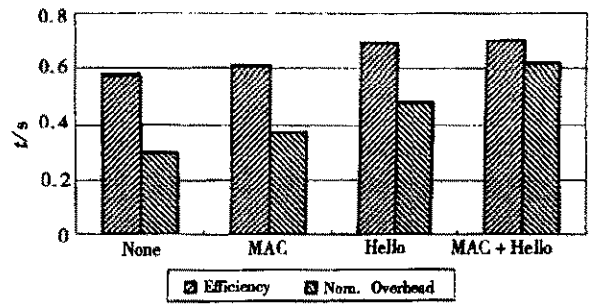

图 5　效率、开销 vs 连通性方案

Fig. 5　Efficiency 、Overhead vs Mobility

5　结论

本文利用 OPNET 仿真平台提出了一个 MANET 环境的通用仿真框架,以 AODV 路由算法为例实现了框架的原型,并给出了仿真结果,进行了初步的性能分析。这个层次型框架中包含了物理

(下转第 9 页)

万方数据

Analysis of Settlement Observation Gists on Softsoil Foundation of Highway

LIU Zuo - ming

(College of Mechanics and Civil engineering, Northwest Polytechincal University, Sanxin Xi'an 710072, China)

Abstract: Though practice for several years, general analysis and summarization is acquired in settlement observation on softsoil foundation of highway. The methods and essential are discussed, which could ensure observation accuracy and make settlement observation feasible and economical.

Keywords: highway; settlement observation; accuracy index; adjustment approach; job guide manuals

(上接第 5 页)

层、链路层和网络层的各层方案的设计与选择,具有整体性。MANET 各层技术的研究,尤其是路由技术的研究,都可以从整体上对它的性能和适用环境进行评估,从而选择最有效、最适用的技术方案,这对于 MANET 的建模与仿真具有实际意义。

参考文献:

[1] IETF Working Group Charter. Mobile Ad - hoc Network (MANET)[EB/OL]. http://www.ietf.org/html.charters/manet - charter.html. 2001 - 3 - 14.

[2] OPNET Technologies, Inc. [EB/OL]. http://www.opnet.com/. 2002 - 03 - 19.

[3] Scott Corson, Joseph Macker. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations[S]. RFC2501. 1999.

[4] Perkins E, Royer E, DasR. Ad - hoc On - demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF Internet Draft[EB/OL]. http://www.ietf.org/internet - drafts/draft - ietf - manet - aodv - 09.txt. 2001 - 11 - 9.

[5] Royer E M, Toh C - K. A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks[J]. IEEE Personal Communications, 1999(4): 1121 - 1135.

[6] Broch J, Maltz D A, Johnson D B, et al. A Performance Comparison of Multi - Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols[A]. Proc. of ACM MobiComm98[C]. Dallas: proceeding of MOBICOM 1998.

Simulation Framework for Mobile Ad Hoc Network

KONG Li - fang, KONG Ling - dong

(School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Jiangsu Xuzhou 221008, China)

Abstract: Using OPNET a general framework is developed to test Mobile Ad Hoc Network (MANET) routing efficiency for different Medium Access Control (MAC) layers, network layers, and nodal mobilities. With this hierarchical integrated framework, it is possible to design different nodal mobility models, media access methods, and routing schemes, to compare end - to - end statistics (end - to - end delay, throughput and efficiency), and to select the most efficient and suitable solution.

Keywords: Mobile Ad Hoc Network (MANET); OPNET; simulation framework

万方数据