

# MANET 接入 Internet 模型的设计与仿真实现

李昕 李喆

(东北大学信息科学与工程学院 沈阳 110004)

**摘要** 在 MANET 接入 Internet 网络中,静态网关提供接入的范围有限,动态网关提供接入的性能不稳定,因此提出动态网关和静态网关协作的 MANET 接入 Internet 模型。在此基础上,设计了一种基于该模型的负载均衡路由算法。仿真结果表明,该模型可以提供比较稳定的 MANET 接入 Internet 性能,负载均衡算法能够有效提高分组投递率,降低平均传输延迟,减少路由开销以及改善 MANET 接入 Internet 网络的整体性能。

**关键词** MANET 接入,负载均衡,动态网关,静态网关

## Design and Simulation of the MANET Accessing Internet Model

LI Xin LI Zhe

(College of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

**Abstract** In the environment of MANET accessing Internet, the static gateways provide limited accessing scope and the dynamic gateways provide instable accessing performance. So this paper presented a MANET accessing Internet model with the collaboration of the dynamic and static gateways. On this basis, a load-balanced routing algorithm was designed. The simulation results show that the model can provide more stable performance of MANET accessing Internet, and the algorithm can increase the delivery ratio, reduce the average transmission delay and overhead, improve the holistic performance of MANET accessing Internet effectively.

**Keywords** MANET accessing, Load balancing, Dynamic gateway, Static gateway

## 1 引言

移动自组网(Mobile Ad Hoc Network-MANET)是一种没有任何中心实体的网络,依靠节点间的相互协作在移动、复杂多变的无线环境中自行成网,为用户提供各种服务。它不依赖于任何固定的基础设施,能够迅速展开并使用,网络节点可以动态地、随意地、频繁地进入和离开网络。

随着无线通信技术的迅猛发展,越来越多的用户提出随时随地访问 Internet、及时获取信息的需求。提供高效稳定的网络互连,就成为满足用户需求的最基本保障。由于 MANET 是多跳的,利用它来实现接入,不仅可以让移动节点获得 Internet 服务,而且可以有效地将 Internet 服务延伸到那些不便于安装基站或信号效果不好的区域。在关于 MANET 的诸多研究中,如何提供高质量的 MANET 与 Internet 互连,已经成为近年来移动接入领域的一个研究热点。

现有的方法主要是利用网关来实现接入。网关是同时位于两个网络边缘的节点,可以和两种网络节点进行通信<sup>[1-4]</sup>。由于 MANET 节点具有移动性,因此使用常规的静态网关将无法保证随时随地地提供接入。在研究 MANET 接入 Internet 的问题时,本文提出使用动态网关和静态网关写作的方式来实现 MANET 接入 Internet。动态网关是具有网关功能的特殊的 MANET 节点,它的位置是在不断变化的,因此可以

提供比较灵活的接入。在接入的过程中,需要频繁地使用网关来转发两个网络间的分组,这势必会造成传输瓶颈,降低接入的性能。同时,由于动态网关具有 MANET 节点所共同具有的能量有限的特点,因此动态网关的资源会迅速消耗,甚至会导致网关节点死亡。

综上所述,实现 MANET 接入 Internet 只是研究的最初阶段,如何提供高效稳定的接入才是研究的重中之重。因此,本文提出了利用动态网关和静态网关协作的 MANET 接入 Internet 的模型。动态网关的使用可以弥补静态网关服务范围受限的不足,静态网关的使用可以弥补动态网关资源有限的不足。在此基础上,设计了一种基于该模型的负载均衡路由算法。该算法将负载均衡分为两个阶段:第一阶段是 MANET 内部的负载均衡,第二阶段是接入网关处的负载均衡。通过两个阶段的协作达到负载均衡的最终目标。仿真结果表明,该模型可以提供相对稳定的 MANET 接入 Internet,所提出的负载均衡算法在提高分组投递率、降低平均传输延迟、减少路由开销以及延长网络接入时间等方面都达到了预期的效果。

## 2 相关工作

目前,国内外解决 MANET 接入 Internet 这一问题的主要思路主要集中于利用 Internet 上的固定路由器作为 MA-

到稿日期:2008-03-24 本文受国家 863 计划(2006AA1453)资助。

李昕(1981-),女,博士,研究方向为 Ad Hoc 网络、MANET 接入 Internet, E-mail: neulixin@tom.com;李喆(1967-),女,教授,博士生导师,研究方向为无线传感器网络、Ad Hoc 网络、移动通信。

NET 接入网关(静态网关),在移动节点和接入网关之间可建立多跳无线链路来进行通信。那么在 MANET 内部,只要有一个或多个移动节点在静态网关的覆盖范围之内,其他不在静态网关覆盖范围内的移动节点就可以借助于其他中间节点进行分组转发,与静态网关进行多跳通信<sup>[5,6]</sup>。

但是,使用静态网关存在网关节点覆盖范围小的问题。当没有移动节点处于静态网关覆盖范围之内时,会中断 MANET 和 Internet 的互联。文献[7-9]提出使用动态网关的方法来提供 MANET 接入 Internet 的方案。动态网关的根本思想是网关可以运动,而且网关的数量可以动态变化。赵金华等人在文献[9]中提出利用动态网关实现 MANET 和 Internet 互联的方案。方案使用 MANET 中的运动节点作为网关,取消附加的固定网关,以此来实现 MANET 和 Internet 的互通。动态网关使用 Mobile IP 协议与 Internet 通信,同时使用 DSDV(Dynamic destination-Sequenced Distance Vector)路由协议在移动自组网内与 MANET 节点交互。通过对距离、注册节点数、通信量的加权算法,对网关进行动态优化选取。使用动态网关可以实现灵活接入的目的,但是由于动态网关节点是特殊的 MANET 节点,因此它们也具有移动性,无法保证它们总是处于 MANET 和 Internet 的边缘,因此可能会造成接入性能不稳定。

鉴于以上考虑,本文提出混合使用动态网关和静态网关的策略。利用动态网关来协助静态网关工作,降低系统的复杂性,增强系统的可靠性,降低开销。同时,由于采用了部分动态网关,使得路由信息及时被更新并较好地消除网络拥塞,平衡网络负载。动态网关和静态网关相辅相成,提供更稳定的接入。

在实现了 MANET 接入 Internet 以后,就需要考虑接入性能的问题。为了提供高效稳定的接入性能,目前大都使用负载均衡的方法。对于负载均衡的研究,目前多集中在多路径上。多路径最根本的思想是通过节点维护路由信息,把网络数据流分布到多条路径上,以此来平衡网络<sup>[10-13]</sup>。然而,这些都是专门针对某一个网络而言的,对于 MANET 接入 Internet 这种异构网络,就不能仅仅考虑上述的因素。由于 MANET 和 Internet 是异构网络,需要网关转发分组,这样就会在网关处产生传输瓶颈。因此需要把负载均衡分成两个阶段:第一阶段,在 MANET 网络内部的负载均衡;第二阶段,网关处的负载均衡。至于 Internet 网内的负载均衡,由于 Internet 的研究已经日趋成熟,因此本文不加以考虑。

### 3 MANET 接入 Internet 模型

本文针对 MANET 和 Internet 各自的特点提出了如图 1 所示的接入模型。在该网络模型中,共存在以下 6 种网络节点:普通的 Internet 节点、普通的 MANET 节点、静态网关节点(具有网关功能的处于 Internet 边缘的 Internet 节点)、动态网关节点、具有网关功能的 MANET 节点、接入路由器(AR,负责收集网关信息并对使用哪些网关做出决策)。

在 Internet 中,设置部分静态网关节点。由于这些节点都是固定的有线节点,因此不需要考虑其能量、计算能力等因素。在 MANET 中,按照一定的比例配置带有网关功能的移动节点。当这些特殊的移动节点移动到 AR 的覆盖范围之内时,就会收到 AR 广播的消息,同时启动其网关功能,为其他

的移动节点提供 Internet 接入。这时,这些特殊的移动节点就成为了动态网关节点。AR 定期统计所有网关的信息,并根据网关信息和路径信息确定通信过程中所使用的网关。

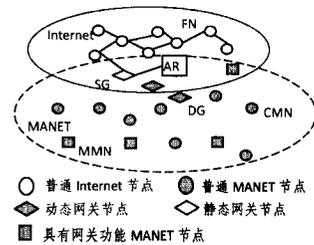


图 1 MANET 接入 Internet 网络模型

通过这种动态网关和静态网关协作的方式,可以降低系统的复杂性,增强系统的可靠性,降低开销。同时,由于采用了部分动态网关,使得路由信息的更新更加及时,并较好地消除网络拥塞,平衡网络负载。

### 4 负载均衡路由算法

MANET 接入 Internet 与传统网络不同。MANET 节点具有灵活移动、无基础设施支持等特点,Internet 已经具有比较成熟的路由协议。路由过程需要在两个不同的网络中进行,因此需要考虑的问题更多。仅仅实现 MANET 接入 Internet 是远远不够的,我们还需要能够提供稳定高效的接入性能。因此,本文在提出上述接入模型的基础上又提出了一种基于该模型的负载均衡路由算法。

由于现有的比较成熟的 MANET 路由算法缺乏网络负载均衡能力,面对大量数据业务,算法不能提供令人满意的性能。本文所提出的路由算法受到按需路由协议中路由发现过程需要路由请求分组(RREQ)的启发:在路由过程中,源节点广播 RREQ 给邻居节点,邻居节点在收到 RREQ 后继续转发。虽然并非每个转发 RREQ 的节点都能最终成为路由的中间节点,但是如果节点不转发 RREQ,则势必不会成为路由的中间节点。因此,通过让中间节点判断自身状态自主决定是否转发 RREQ,将使路由避开重负荷节点,达到负载均衡的目的。

#### 4.1 节点可用度的计算

在本算法中,一个比较重要的参数就是节点可用度。下面对该参数进行定义:

节点综合可用度 NIUD(Node Integrated Usable Degree)

$$NIUD(j) = m \frac{p_j}{P_j} + n \frac{E_a}{E_{mi}} + k [1 - \frac{B_a}{B}]$$

$$m + n + k = 1$$

$p_j$  表示节点  $j$  的负载队列长度,  $P_j$  表示节点  $j$  的缓存长度;  $E_a$  表示节点的剩余能量,  $E_{mi}$  表示节点的初始能量;  $B_a$  表示节点当前可用带宽,  $B$  表示节点最大带宽;  $m, n, k$  分别是 3 个参数的加权系数,它们的值可以根据不同的影响因素进行调整。

由于静态网关不受能量限制,因此在计算静态网关的可用度的时候,令  $n=0$ 。

#### 4.2 MANET 内部的负载均衡

本算法在路由请求 RREQ 中添加一个字段  $S$  来记录所经过节点的节点可用度之和。当源节点发起路由请求时,将  $S$  域置为 0,然后广播 RREQ。中间节点收到 RREQ 后,计算

自己的节点可用度来确定当前的状态。路由层根据节点的当前状态来决定该节点是否可以作为中间节点。节点的状态分为两种:重负荷(WORKHORSE)和正常(NORMAL)。本文假设当节点可用度小于0.2时,认为该节点是重负荷节点。网络中每个节点的路由层都有权根据其网络状态决定转发或丢弃收到的RREQ分组。当一个中间节点处于“重负荷”状态时,它不再处理任何路由请求,丢弃它所收到的RREQ,不再成为其他数据流的中间节点。当节点恢复“正常”状态后,可以继续转发新的路由请求。

当节点处于“正常”状态时,如果首次收到来自源节点的RREQ,则把自身的节点可用度添加到RREQ的S中,并转发RREQ。如果节点已经收到来自同一源节点的相同广播ID的RREQ,则比较两个RREQ中的路径信息是否为节点不相交路径。如果是节点不相交路径,则采用上述办法转发RREQ;否则,丢弃该RREQ。此外,即使中间节点拥有到达目的节点的路由信息,也不直接回复路由请求,这是为了避免不同路由请求都从同一段路径建立路由,同时也是为了寻找最佳路由。

当网关接收到第一个RREQ后,网关节点等待一定时间来获得所有可能的路由信息。最后,网关节点选择一个S与跳数的比值最大的路由作为经过该网关的路由。

#### 4.3 网关处的负载均衡

本文所提的网络模型中包括两种网关:动态网关和静态网关。由于动态网关的移动性,无法保证其一直处于网络边缘。同时,不同的需求所需要的网关数目也不相同。出于降低网络运行成本、充分并均衡地利用网关资源的角度考虑,本文提出了一种网关的动态调整算法。

网关节点定期检查自身的节点可用度,并将可用度报告给接入路由器。接入路由器在一个周期内统计可用网关的平均可用度,并根据该值确定一个网关的使用门限值(在本文中,门限值=网关的平均可用度 $\times$ 60%)。接入路由器将可用门限值广播给网关节点,网关节点将自身的可用度与使用门限值进行比较。如果自身可用度高于使用门限值,则网关节点行使其网关的功能;否则,网关节点将只作为普通节点参与路由。随着网络的运行,节点资源在不断地变化,因此也需要对门限值进行动态调整。网关门限值的具体调整算法如图2所示。

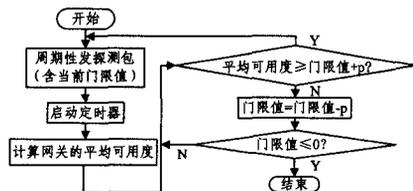


图2 网关门限值的动态调整算法

$P$ 为调整因子。 $P$ 的取值要遵循在保证一定吞吐率的基础上尽可能延长网络生存时间的原则。本文通过仿真实验来确定 $p$ 的取值。不失一般性,我们认为如果分组投递率低于40%,则通信的质量将无法保证,因此本文将最低需要保证的投递率定为40%。如果使用本文所提出网络接入模型和负载均衡算法后投递率能够达到40%,那么就认为该模型和路由算法在投递率上达到了要求。

通过仿真,发现分组投递率在随着 $p$ 值的不断减小而降

低。这主要是因为 $p$ 值越大,相当于每次调整后的门限值就越低,那么新加入的网关也就越多,连接性增强,投递率自然增大。但是,当 $p$ 值小于等于0.002以后,分组投递率就已经无法达到40%了,因此认定 $p$ 值应该大于等于0.003。与分组投递率情况正相反,网络生存时间随着 $p$ 值的不断增大而逐渐变小。为了尽可能地延长网络的寿命,需要 $p$ 的取值尽可能地小。综合上述两方面的考虑,本文将 $p$ 的取值定为0.003。

## 5 仿真实现及分析

由于现有的针对MANET接入Internet的研究大多集中在实现接入及网关的发现方法上,对接入性能的研究相对较少,因此难以将本算法的性能与其他的研究成果做横向比较。鉴于上述意愿,在这一节里,我们将只对加入负载均衡路由算法前后的网络性能进行比较和分析。

### 5.1 仿真环境

在NS2环境下进行仿真。无线电传播模型用的是Two RayGround Reflection Model。载频为914MHz,物理信道的带宽为2Mbit/s。链路层采用802.11 MAC层协议的分布式协调功能DCF(Distributed Coordination Function)。接口队列的大小设置为60packets。24个节点分布在1000 $\times$ 750m<sup>2</sup>的矩形区域内,其中包括14个移动节点,连接数为5,仿真时间为1500s。移动节点按照random waypoint底层运动模型,从初始地点向一个随机选取的坐标地点移动,移动速度服从0~10m/s的均匀分布。节点运动到达目的地之后停留一段时间,然后随机选取目标地点继续移动。应用层流量模型定义为CBR连接,包长为512bytes。无线接口的能耗参数参照WaveLANPC/Card(无线网卡)的工作特性。

仿真通过改变连接数来改变网络的负荷。

### 5.2 仿真参数

以下是本文选取的算法性能比较参数。

- 分组投递率:网络中成功到达目的节点的分组比特数与网络中源节点发送的比特数的比值。

- 平均端到端时延:包含了数据分组从源节点产生到目的节点接收整个过程中所有可能产生的延时,主要包括路由发现过程所需的时间、分组在缓存中排队的时间、链路层重传时间以及传播的时间等。

- 路由开销:所有路由控制分组(RRER, RREP和RRER等)与网络中所有传输的分组(包括数据分组和路由控制分组)的比率。

- 网络生存时间:从网络运行开始到网络中第一个节点死亡的时间。

### 5.3 仿真结果

图3显示了网络中连接数发生变化(即网络负载发生变化)时两种算法的分组投递率的对比曲线。仿真结果表明,加入该负载均衡路由算法之后,网络的分组投递率得到明显提高,特别是当网络负载增加时,性能提高更明显。这是因为使用该算法后,选择拥塞较小的路径进行数据传输,并避开了重负荷节点,间接地提高了整个网络的吞吐量。另一方面,如果不考虑负载均衡问题,当网络业务量较多时,经常会出现路由失效而导致丢包的情况,使分组投递率降低。

图4显示了分组的平均传输延迟随网络负载变化下的对

比情况。使用负载均衡算法之后的时延要明显小于未使用负载均衡算法以前的情况,特别是在重负载情况下时延的降低更加明显。平均传输延迟主要是由分组在节点队列中的排队时间产生的。所以,当网络负载增大时,未加入负载均衡算法的时延迅速增加。而加入负载均衡后的算法在路由过程中尽量避开重负荷节点,选择节点队列比较短的节点作为中间节点,这样就绕过了拥塞的节点,减小了分组的排队时间。

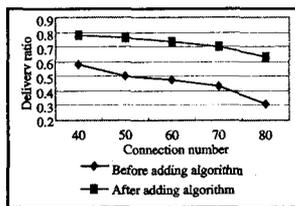


图3 分组投递率对比

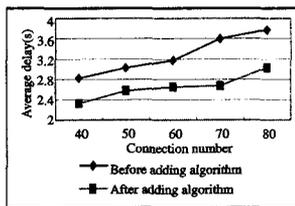


图4 平均传输延迟对比

从图5中可以看出,加入负载均衡算法后的路由开销要明显大于未加入负载均衡算法的路由开销。这主要是因为为了掌握节点的负载情况,加入负载均衡的算法需要发送较多的控制分组。但是随着网络负载的加重,一部分重负荷节点会直接丢弃 RREQ,这又极大地减少了控制分组的数量。同时,由于加入负载均衡算法的分组投递率比未加入负载均衡的算法的分组投递率要高,相同情况下目的节点可以接收到更多的分组,以在重负载情况下加入负载均衡后的算法的开销随着连接数的增加而迅速降低。从图中可以看出,当网络负载增加时,两个算法的路由开销都在降低,这是因为源节点可以利用发现的路由发送更多的数据分组。

从图6中可以看出,加入负载均衡算法后网络生存时间明显延长,特别是在网络负载加重的时候。产生这种情况的主要原因是加入负载均衡后的算法对重负荷节点采用了节点保护策略,即重负荷节点不参与路由。这样,尽可能使用剩余能量较多、节点队列长度较短的节点来转发分组,有效地延长了网络的生存时间。

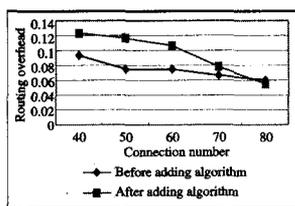


图5 路由开销对比

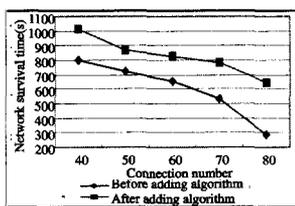


图6 网络生存时间对比

#### 5.4 算法特点

- 通过动态调整网关的使用门限值,实现网关的负载均衡,延长网关的使用寿命。

- 采用多路径技术,降低网络拥塞,缓解网络重负载情况下的丢包现象,提高网络的分组投递率。

- 回避重负荷节点,实现 MANET 内部的负载均衡,延长网络生存时间,同时降低了网络拥塞。

**结束语** 本文以 MANET 接入 Internet 为背景,在综合分析动态网关和静态网关优劣的基础上,提出了基于混合应用动态网关和静态网关的 MANET 接入 Internet 模型,并提出了一个基于该模型的负载均衡路由算法。

根据节点的可用情况,每个节点自主选择是否转发 RREQ,从而避免了网络拥塞并减少了 RREQ 风暴。同时,对网络中有限的动态网关节点采取保护措施,尽可能地均衡使用网关资源,有效地延长了网络接入的时间。仿真结果显示,本模型和路由算法在高业务量的情况下,以增加路由开销为代价,显著提高了分组投递率、平均端到端传输时延和网络的生存时间。由于本模型和路由算法避免了重负荷节点成为中间节点,因而增强了所选路径的稳定性,减少了网络拥塞。

本文所提出的基于混合应用动态网关和静态网关的 MANET 接入 Internet 负载均衡路由算法的实质就是在节点不相交路径上进行网关的负载均衡。节点不相交路径中把网关也作为路径上的一点,这样在选择节点不相交路径的同时,也就选择了不重复的网关,实现了网关处的负载均衡。同时,通过动态调整网关的使用门限值来均衡地消耗网关资源,这也在一定程度上实现了负载均衡。所有网关的网络性能和资源消耗基本上是平均的,没有出现网络资源的浪费。

#### 参考文献

- [1] Zhao Y L, Men C G, Yang X Z. Asymmetrical multi-gateways based internet connectivity for MANET6. Journal of Harbin Institute of Technology (New Series), 2005, 12: 173-178
- [2] 廖志,舒炎泰,张连芳,等. Ad hoc 动态源路由协议的移动网关扩展. 微处理机, 2006(2): 23-27
- [3] Ruiz P M, Gomez-Skarmeta A F. Enhanced Internet Connectivity for Hybrid Ad hoc Networks Through Adaptive Gateway Discovery//Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04). Tampa, FL, 2004: 370-377
- [4] Ammari H, El-Rewini H. Integration of Mobile Ad Hoc Networks and the Internet Using Mobile Gateways//IPDPS'04
- [5] Huang Tsung-Chuan, Wu Sheng-Yi. An Adaptive Gateway Discovery Algorithm for the Integrated Network of Internet and MANET//ICCNMC 2005, LNCS 3619. 2005: 911-920
- [6] Lee Jeongkeun, Kim Dongkyun, Garcia-Luna-Aceves J J. Hybrid gateway advertisement scheme for connecting mobile ad hoc networks to the Internet. IEEE, 2003: 191-195
- [7] Denko M K. A Mobility Management Scheme for Hybrid Wired and Wireless Networks. IEEE, 2006
- [8] Denko M K, Chen W. An Architecture for Integrating Mobile Ad hoc Networks with the Internet using Multiple Mobile Gateways. IEEE, 2005
- [9] 赵金华,刘宏伟,宋远骏,等. 移动自组网与 Internet 互连的动态网关策略. 电子学报, 2006, 34(1): 5-10, 18
- [10] Zhao J H, Yang X Z, Liu H W. Load-balancing Strategy of Multi-gateway for Ad hoc Internet Connectivity//Proceedings of the International Conference on Information Technology, Coding and Computing (ITCC'05). 2005: 1-5
- [11] Ganjali Y, Keshavarzian A. Load Balancing in Ad Hoc Networks; Single-path Routing vs. Multi-path Routing//IEEE INFOCOM'04[C]. 2004: 1120-1125
- [12] Ito Y, Mineno H, Ishihara S. A Scheme Encouraging Mobile Nodes to Forward Packets via Multiple Wireless Links Aggregating System Between the Internet and Mobile Ad Hoc Networks//Higashino T, ed. IOIDUS 2004, LNCS 3544. 2005: 110-123
- [13] 赵力强,王新,林国祥,等. 一种负载均衡的移动 Ad-hoc 网络路由协议及改进. 计算机科学, 2006, 33(12): 30-33