

MANET 与 Internet 互联时的广播风暴抑制策略

沈 斌¹, 石冰心¹, 李 波²

(1. 华中科技大学电子与信息工程系, 武汉 430074; 2. 云南大学信息学院, 昆明 650091)

摘要: Mobile Ad Hoc 网络(MANET)与 Internet 互联时, 如何使 Internet 网关适应 MANET 高度动态变化的网络条件与实际连接需求, 以合理的开销向 MANET 通告可用网关信息是获取良好互联性能的关键。该文根据那些欲访问 Internet 的 MANET 节点距离 Internet 网关的实时位置及其访问需求自适应地设置网关通告报文的 TTL 值以实现最佳覆盖, 同时采用基于计数的广播风暴抑制策略有效地抑制了洪泛网关通告报文所形成的广播风暴。用 NS2 进行的仿真说明该文提出的方法在将节点密度及规模变化的 MANET 接入 Internet 时能获得良好的连接性能而开销合理。

关键词: 移动 Ad Hoc 网络; Internet 自适应互联; 广播风暴抑制

Adaptive Approaches of Relieving Broadcast Storms Connecting MANET to Internet

SHEN Bin¹, SHI Bingxin¹, LI Bo²

(1. Dept. of Electronics and Information Eng., Huazhong Univ. of Sci. and Tech., Wuhan 430074;

2. School of Information, Yunnan University, Kunming 650091)

【Abstract】 Mobile Ad Hoc networks are extremely flexible, self-configurable and easy-to-deploy wireless networks. The biggest challenge to connect mobile Ad Hoc networks to the Internet stems from the need to inform ad hoc nodes about available gateways in an extremely changing scenario while making a reasonable consumption of the scarce network resources. This paper proposes and simulates a new adaptive Internetworking scheme that not only can adjust the scope of the gateway advertisement packets dynamically, but also can relieve broadcasting storms of flooding gateway advertisement packets with counter-based scheme. Simulation results with NS2 show that the approach can adapt to the change of mobile ad hoc networks' scale and node density well and can achieve good connectivity while keeping overhead costs low.

【Key words】 Mobile Ad Hoc networks(MANET); Internet adaptive connection; Broadcasting storms relieving

1 概述

移动自组网 MANET(Mobile Ad hoc Networks)作为是 IETF 拟议的高性能移动路由技术之一, 最初仅限于军事用途, 但这种无线多跳通信网络因具有高度灵活、易于配置、无须基础设施网络支持等优良特性, 目前正逐渐进入商业和民用领域并被认为是下一代移动通信系统解决方案中最有希望被采用的末端网络。这实际上是要求将 MANET 扩展成为一种固定 IP 网络, 尤其是 Internet 的无线多跳接入网, 如此使得良好的 Internet 连接性能对于 MANET 变得极为关键, 对相关问题开展研究也具有重要意义。

欲访问 Internet 的 MANET 节点(下文简称为源节点)首要问题是如何发现可用网关而对资源极其宝贵的 MANET 负担最小。根据网关提供全局连接信息(网关 IP 地址或地址前缀以及到网关路由等)的主动性程度可将已有方案分为先应式(Proactive)、后应式(Reactive)以及综合式(Hybrid)3 类。先应方案让网关周期性地广播网关通告报文(Gateway Advertisement Messages, GWADV)到整个 MANET 中使节点及时获取并更新可用网关信息因而连接性能较好, 尤其适用于对延迟敏感的应用, 代价则是洪泛(Flooding)GWADV 的开销不菲^[1]。后应方案下的网关不主动发送 GWADV, 而由源节点发送网关请求报文按需寻找可用网关, 因此互联开销与业务流量自适应, 但可用网关的按需查找使得传输延迟较大^[2]。

综合方案下的网关只向那些距其不超过特定跳数(由 GWADV 之 TTL(Time_To_Live)值决定)的 MANET 节点广播 GWADV 以主动提供全局连接信息, 无法收到该报文的源节点则需自己主动寻求可用网关^[3]。该方案希望能找到一个处于中间状态 GWADV 的 TTL 以期在先应式方案的性能与后应式方案的开销之间进行平衡。但由于 MANET 规模、源节点数量及其分布等网络条件都是动态变化的, 因此很难找到一个在各种场景及网络条件下均能提供良好连接而又普遍适用的 TTL^[3]。实际上, 由于 MANET 的特殊性, 相应地要求网关发现方案能适应其动态变化的网络条件, 当前静态设置 GWADV 的 TTL 值的互联方案恰好缺乏这一点。

互联时另一个重要但尚未考虑到的问题是所谓广播风暴问题。尽管广播技术常是必需的, 如 AODV^[4]等 MANET 路由协议需用广播来建立路由, 为 MANET 提供 Internet 接入的网关也需广播 GWADV 向 MANET 节点提供全局连接信息, 但洪泛这种广泛采用的简单广播方式允许每个节点都将其首次听到的广播分组转播(Rebroadcasting)给自己的邻居的做法, 可能导致一系列问题。首先, 无线收发器的信号可能因彼此严重重叠而导致广播分组被重复接收。若收发器的覆盖区域均

作者简介: 沈 斌(1973 -), 男, 讲师, 主研方向: 移动计算; 石冰心, 教授、博导; 李 波, 博士

收稿日期: 2005-12-13 **E-mail:** shenbinghust@hotmail.com

为半径为 r 的圆，相距为 d 的两个收发器信号覆盖区域的重叠部分为 $INTC(d)$ 的话，则节点 N 转播源自节点 S 的广播分组可使该报文新增覆盖面积 $AC = \pi r^2 - INTC(d)$ ，当 $r=d$ ，可得 AC 的最大值为 $0.61\pi r^2$ ，让 N 在 S 的信号覆盖区域内随机游走测算可得 AC 均值为 $0.41\pi r^2$ ^[5]。若节点 N 尚未完成其转播就已听到邻居将同一广播分组转播 k 次了，则该广播分组因为节点 N 的转播而新增的规一化覆盖面积与 k 的关系如图 1 所示，从中可见，当 $k>4$ 时 N 的转播就几乎无效了(新增覆盖面积 $<5\%$)。不仅如此，节点的盲目转播还会造成严重的数据碰撞。假设无线信号以光速传播，则 S 发送的广播分组会同时抵达其邻居，这些具有相同的硬件组成和系统负载的邻居们若不采取任何冲突避免措施话，则其转播也会同时进行，由此产生激烈的信道竞争和数据碰撞。令情况更糟的是广泛采用的CSMA/CA并不对广播分组采取RTS - CTS - DATA - ACK(即发送方发送RTS报文收到CTS报文或者是发送DATA分组后收到ACK报文)这样的握手过程以减少碰撞。上述各种因素的综合就可能造成所谓的广播风暴。

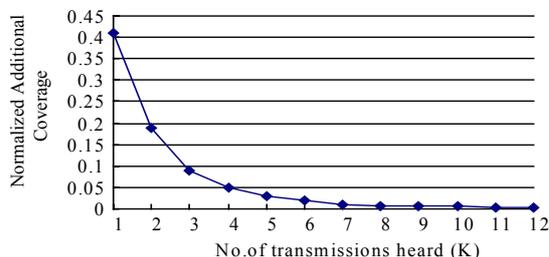


图 1 广播分组被节点听到 K 次后才予以转播所得新增覆盖面积

为了抑制广播风暴效应，许多广播协议采取了在将广播分组缓存 t_s 后再发送的随机访问延迟(Random Assess Delay, RAD)策略。这里的 t 取一个不超过 T_{max} 的随机值。通过RAD既可使MANET节点错开访问信道的的时间，减少数据碰撞机会，也使节点获取必要的时间，评估其即将进行的转播是否确有必要，无效的转播可在RAD时间到期前予以取消。节点可以基于概率或计数进行转播，也就是依据一定的概率或其在RAD时间内重复接收某广播分组的次数而决定是否予以转播；节点亦可基于空间或邻居信息进行转播，此时，节点对某分组的转播只有在使该广播分组能覆盖新的区域或邻居节点才进行。在上述转播策略中，基于计数的转发策略最引人瞩目的特征是其简单并且天然地对局部拓扑结构具有自适应性：当网络节点密度较大时，节点可能在某广播分组的RAD时间内因重复接收该分组的次数超过阈值而放弃对其进行转播；反之，在一个节点稀疏的网络中，所有的节点都可能转播分组^[5]。

本文的贡献在于提出并实现了一种 MANET 与 Internet 的自适应互联协议。该协议不仅能根据 MANET 的网络条件及其 Internet 访问需求实现 GWADV 在 MANET 中的自适应覆盖，而且采用了基于计数的转播策略对 MANET 节点盲目转播 GWADV 所形成的风暴予以有效抑制，因此能够适应源节点在 MANET 中的分布、数量等因素的动态变化而提供良好的互联性能且协议开销合理。以 NS2 进行的仿真证实了该协议的有效性。

2 协议设计

在自适应协议中，同时具备有线和无线接口的网关位于 MANET 与 Internet 之间，负责追踪源节点并在两种网络间转发分组。每个 MANET 节点配置了一个永久的 IPv6 地址作为

其唯一且全局有效的标志。如何有效地进行 Internet 连接是下面要详细说明的，而 MANET 内的分组传递由 AODV 路由协议负责。

2.1 路由发现和分组传输

AODV 的路由发现机制被源节点 S 用来确定目标节点 D 的位置及性质。当 S 需要至 D 的路由时会首先广播路由发现报文RREQ在MANET中寻找，若 S 采用环形拓展搜索法^[4]将MANET搜索一遍后没有收到任何路由回复报文RREP，或者只收到网关回复的RREP_I报文(普通RREP报文拓展了一个“I”标识位)，则 S 意识到应该通过网关与 D 通信。若此时 S 尚无至网关的路由，则广播网关寻求报文RREQ_I(普通RREQ报文拓展了一个“I”标识位)寻找，此RREQ_I的目标地址为网关组播地址而其TTL取值足够大，一旦此RREQ_I被网关获取，则单播RREP_I回 S 提供可用网关信息以使之建立全局连接。由于在发送RREQ_I的时候不再采用逐次扩展搜索范围的环形拓展搜索技术，因此分组传输延迟和协议开销较已有方案得以降低。

另外，源节点按最短路径优先进行网关选择并按MIPMANET Cell Switching^[1]算法进行必要的网关切换。

2.2 移动节点列表

为了获取源节点的分布信息用以指导GWADV报文的发送，网关维持一个移动节点列表MNL(Mobile Nodes List)，其中记录了源节点的IP、节点序列号、距网关跳数以及过期时间等信息。上述信息的建立及更新由网关通过解析源节点送来的RREQ_I中的对应字段完成。此外，MNL中的记录在建立时即被设立了生命周期并通过刷新予以延长，过期的记录意味着对应的MANET节点或者已离开此网关的管理区域，或者是不再需要Internet连接了，因此予以删除。

2.3 GWADV 报文的自适应发送

网关周期性地扫描自己的MNL以解源节点的数量、与自己的距离及其在MANET中的分布情况，这些信息将被网关用于指导自己下一周期的GWADV报文的广播，从而实现特定的覆盖。虽然其它的启发式方法也是可行的：如设置GWADV报文的TTL值使之只覆盖那些最靠近网关的源节点；或者使该报文覆盖特定数量甚至特定比例的源节点，但本文选择了一种最主动的覆盖方式——最大源节点覆盖。其具体步骤如下：

(1)网关完成初始化后即连续地向整个MANET中广播GWADV若干次。这样做不仅是因为网关的MNL此时可能为空，也是为了使尽可能多的MANET节点尽早地获知网关的存在。虽然要付出更多的开销，但这种主动有助于全局连接性能的改善。

(2)完成其预定次数的全网GWADV广播后，网关将待发送的GWADV之TTL值设为其自MNL的“距网关跳数”一栏中所了解的最大值，而使GWADV跟踪并覆盖所有源节点。

2.4 基于计数的广播风暴抑制

虽然最大源节点覆盖策略可自适应地调整GWADV的洪泛区域，但该方法实际上是洪泛范围自适应调整的先应网关发现。对于较大规模或拓扑结构不稳定的MANET而言，增强网关发现的主动性能取得更好的连接性能，但对于小规模或高密度的MANET而言，周期性地洪泛GWADV等广播分组所形成的广播风暴可能不可承受，必须设法予以抑制。为此自适应协议中GWADV和RREQ/RREQ_I等广播分组都包

含了一个广播 ID 字段, 该 ID 随网关或 MANET 节点每次广播而单调增加, 接收节点根据(源节点 IP, 广播 ID)来判断此广播分组是否属于重复接收, 已完成如下计数过程的重复广播分组将被节点直接丢弃。节点对首次接收的广播分组及尚未完成计数过程的重复广播分组则按如下的步骤进行计数以评估是否需要转播:

(1)将首次接收到的广播分组(如 GWADV)缓存, 初始化计数器 $c=1$ 并开始 RAD 过程; 反之, 若该广播分组为重复接收且其计数过程已开始但尚未完成, 则丢弃此广播分组后执行步骤(4);

(2)RAD 时间已经到期则将此广播分组提交 MAC 层传输并等待传输真正开始;

(3)该广播分组已经发送, 过程中止;

(4)计数器 c 增 1, 如果 c 小于预定的常数 C 并且 RAD 时间尚未超时则继续等待; 否则转(5);

(5)取消此广播分组的传输, 对后续来的重复报文也不转播, 过程中止。

按照我们所设计的互联协议, GWADV 报文在 MANET 中的洪泛深度会根据源节点的分布、数量等网络条件之变化而自适应动态调整。可以预期这种目的明确的主动性能获得良好的互联性能。另外, 基于计数的转播策略则可在不增加开销的前提下抑制盲目转播 GWADV 等广播分组所形成的广播风暴, 实际上使互联协议对网络节点密度的改变也具有自适应性。

3 仿真及结论

为了测试所设计的协议性能, 我们在 NS2 进行了原型设计, 并针对如下两个网络环境进行了仿真:

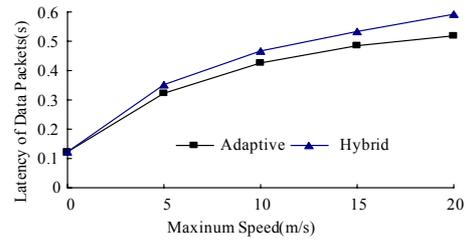
(1)60 个移动节点分布于 $1\ 300\text{m} \times 1\ 300\text{m}$ 的仿真区域中;

(2)60 个移动节点分布于 $650\text{m} \times 650\text{m}$ 的仿真区域中。

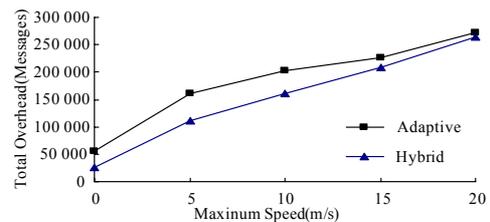
仿真的两个 MANET 节点数量相同, 而节点密度则显著不同(第(1)个只有第(2)个的 $1/4$), 因此, 完全相同的节点在不同的 MANET 中平均拥有的邻居节点数量(节点密度 \times 收发器信号覆盖面积)也不同。这种差异显著的网络条件恰好可以测试协议的适应能力。MANET 通过两个网关接入 Internet, 它们被分别配置在仿真区域对角上并同时运行 AODV 和有线路由协议。每个网关都通过一个路由器连接了一个作为信宿的固定节点, 而这两个路由器也是互通的。网关与路由器以及路由器与固定节点之间的连接均为 10Mbps 的有线网络。无线收发器的信号覆盖直径均为 250m, 5 个 CBR 信源则被设置在随机选择的 MANET 节点上, 其数据发送速率为 $10/\text{s}$ 个大小为 512B 的分组。MANET 节点的随机运动遵守 Random Waypoint Mobility 模型, 其暂停时间为 10s, 最大运动速度依次取为 0, 5, 10, 15, 20(m/s)。每次仿真运行时间都相同(600 个仿真秒), 而其运动场景却是随机产生的。仿真曲线中的每个数据点是以相同的流量模型和最大运动速度运行 10 次仿真所得结果的均值。GWADV 报文的寿命期为 30s, 发送间隔为 $5\text{s}^{[3]}$; T_{max} 取为 $0.01\text{s}^{[5]}$; AODV 协议所用参数则与文献[4]同; RAD 计数过程中的常数 C 根据图 1 取为 3。

图 2、图 3 显示了自适应互联协议在不同运动速度下的端到端分组传输延迟、端到端分组传输比(信宿成功接收的数据分组与源节点发送分组之数量比)及整体开销(所有非数据分组的传输次数总和)。图中还同时对给出了综合网关发现协议(其 GWADV 报文的 TTL = 2, 其它参数同于自适应网关

发现协议)在相同的场景下的仿真性能曲线。从图可见, 当 MANET 规模较大时, 由于自适应协议总是目的明确地设置 GWADV 之 TTL 对所有的源节点进行跟踪覆盖, 因此传输延迟明显降低(图 2(a))。而由于此时每个节点的邻居节点平均不超过 2 个, 因此难以在 RAD 时间内接收足够的重复广播分组以启动广播风暴抑制策略, 加上网关发现的主动性, 使得总体开销较综合网关发现就稍大(图 2(b))。但当 MANET 中节点密度增加 4 倍而其它条件不变时, 由于节点在 RAD 时间内能收到大量的重复广播分组而显现出广播风暴效应, 从图 3(b)可以看出, 网关发送 GWADV 不再那么主动并且基于计数的广播风暴抑制方法开始发挥作用, 导致总体开销显著降低, 只有综合网关发现协议的 $1/5 \sim 1/4$, 而连接性能同样良好, 如图 3(a)所示。(图 2 为 60 个节点位于 $1\ 300\text{m} \times 1\ 300\text{m}$ 仿真区域内。图 3 为 60 个节点位于 $650\text{m} \times 650\text{m}$ 仿真区域内)。

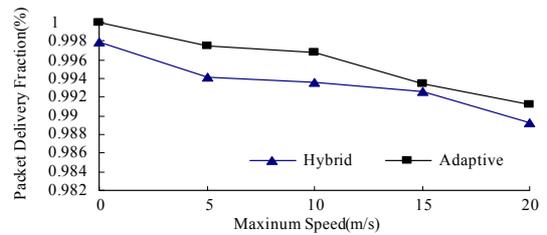


(a) 平均端到端分组传输延迟

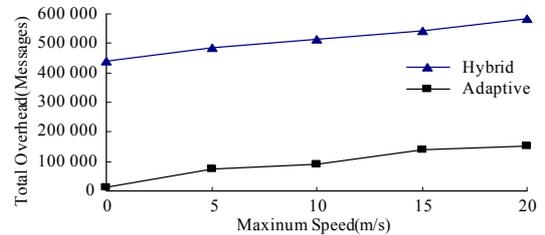


(b) 整体开销

图 2 互联协议在不同移动速度下的性能



(a) 分组传输比



(b) 整体开销

图 3 互联协议在不同移动速度下的性能

综上所述, 由于网关能从源节点送来的网关请求报文 RREQ_I 中了解到这些节点相对自己的位置和分布信息, 并以此信息来指导自己设置下一次发送网关通告报文 GWADV 的 TTL 值, 从而使得该报文总是能覆盖所有的源节点而获取最优的连接性能。当 MANET 节点密度变大, 广播 GWADV

(下转第 99 页)