

MANET 与 Internet 互联时的增强型机制研究

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. 云南大学信息科学与工程学院, 昆明 650091)

摘要: 已有的移动自组网与 Internet 的互联协议由于无法克服网关发现过程中的单向链路并且因盲目转播网关发现报文形成广播风暴等原因而使性能严重恶化。该文提出了一种增强型的综合互联协议, 该协议一方面采用效率较高的综合方式进行网关发现, 另一方面则通过交换携带有对称邻居列表和非对称邻居列表的 HELLO 分组而有效克服了网关发现过程中的单向链路, 同时抑制了广播风暴的形成。基于 NS2 的仿真结果显示该增强型的综合互联协议在不引入新控制分组的前提下能显著提升互联性能, 降低互联开销。

关键词: 移动自组网; Internet 互联; 网关发现; 单向链路; 广播风暴

Research on Enhancing Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks

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 Science and Engineering, Yunnan University, Kunming 650091)

【Abstract】 Although an autonomous mobile Ad Hoc network (MANET) is useful in many scenarios, a MANET connected to the Internet is more desirable. In such integrated scenarios, commonly known as hybrid Ad Hoc networks, performance of the Internet connectivity will be degraded greatly if obvious unidirectional links are ignored and gateway discovery packets are rebroadcasted blindly during MANET nodes discovery available Internet gateway. The routing protocol called Ad Hoc on-demand distance vector (AODV) has been modified to set up multihop paths to the Internet gateways in the MANET. Through exchanging HELLO packets which are identical to the AODV hello packets except for the additional neighbor list and partner list, unidirectional links are removed from route computations and redundant rebroadcast of the broadcast packets are inhibited simultaneously in the procedure of gateway discovering. Performance results using NS2 simulations, under varying number of unidirectional links and node speeds, show that the Internet connectivity scheme can provide better performance than others due to avoiding unidirectional links and relieving broadcast storm, and is a step closer to making the large-scale deployment of MANETs a reality.

【Key words】 mobile Ad Hoc network; Internet connectivity; gateway discovery; unidirectional link; broadcast storm

1 概述

移动自组网(MANET)与Internet的互联具有诱人的应用前景。然而, 已有互联协议由于无法克服网关发现过程中的单向链路及易于形成广播风暴而导致性能严重恶化。广播风暴的主要成因在于以广播方式进行网关发现, 尤其是采用洪泛(flooding)方式进行广播。不管是按先应^[1]、后应^[2]还是综合协议^[3]进行网关发现, MANET均需承受网关发现分组(网关通告或网关请求分组)的周期性或按需洪泛。另外, 如AODV^[4]等为数众多的MANET路由协议也以洪泛方式进行路由发现。虽然简单, 但洪泛方式下的节点盲目地将其首次听到的广播分组转播(rebroadcast)给其相邻节点却可能导致大量的冗余分组、激烈的信道竞争以及报文冲突, 出现所谓的广播风暴^[5]。如图1中的节点E、B、F就没有必要对自己首次听到的网关通告进行转播, 因为这种转播除了浪费能量和带宽外, 并不能使网关通告覆盖新的节点。

普遍存在的单向链路对于 Internet 与 MANET 两个异质网络的互联性能也有重要影响。直接后果就是既有网关发现方案所依赖的链路对称假设不再成立, 也就是说不能再认为沿网关通告传播的逆向路径就能抵达网关。如图1中的节点D依据网关广播的通告所建立的至网关逆向路由就因含单向链路而无效。考虑到广泛采用的 IEEE 802.11 对诸如网关

通告和网关请求此类广播分组的传输并不提供 RTS - CTS - DATA - ACK 这样的握手过程以判明链路连接性, 因此就必须采取额外措施以避免在全局路由计算中引入单向链路。

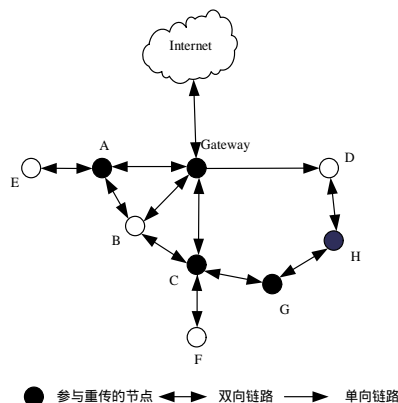


图1 包含单向链路的 MANET 与 Internet 互联网关发现过程中的广播风暴抑制和单向链路克服必须同

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60362001)

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

收稿日期: 2006-08-23 **E-mail:** shenbinghust@hotmail.com

时考虑。如图 1 中若只考虑抑制广播风暴,则 D 就有责任转播源自网关的通告分组以使之覆盖新的节点 H,但此通告一旦被 H 收取就会使其误以为存在着经 D 两跳接入 Internet 的路径并因此拒绝建立通过 G, C 三跳接入 Internet 的路径,但实际上前者因包含单向链路而不可用。

本文设计并实现了一种增强型综合互联协议。该协议在综合网关发现协议的基础上采用增强型的 AODV HELLO 机制以克服单向链路并同时抑制广播风暴的形成。基于 NS2 的仿真结果表明该协议能显著改善互联性能并降低开销。

2 协议设计

AODV 协议被扩展使之也负责建立 MANET 节点(MANET node, MN)与网关之间的多跳连接,而其 HELLO 分组则被增加了对称邻居列表和非对称邻居列表两个字段以分别携带对称邻居节点和非对称邻居节点,配置有全局可路由 IP 地址的 MN 通过定期交换该 HELLO 分组以进行单向链路克服和广播风暴抑制。

2.1 数据结构

2.1.1 相邻节点列表

每个节点都维持有一份相邻节点列表(neighbor node list, NNL)以记录局部拓扑信息。当某个节点 x 收到另一个节点,譬如节点 h,发送的 HELLO 分组,它就在自己的 NNL 中新增一条记录并将 h 的 IP 地址插入到该记录的“Neighbor ID”字段(若此记录业已存在则延长其有效期)。该记录的其它字段还有“Symmetric_Link”、“Share_Neighbor”以及“Lifetime”。“Symmetric_Link”字段表明了 x 与 h 之间的链路是否对称。若对称则 x 称 h 为其对称邻居,“Symmetric_Link”被设置。否则 x 称 h 为其非对称邻居。一旦 x 发现 h 是其对称邻居,则会进一步判断自己的对称邻居是否也全是 h 的对称邻居,若否则将“Share_Neighbor”字段设置以为标志。NNL 中的记录通过接收 HELLO 分组而得到刷新,在“Lifetime”字段所指明的有效期内未被刷新的过期记录将被删除。

2.1.2 广播 ID 列表

每个节点都维持一个广播 ID 以对其创建的广播分组进行编号。为了避免广播报文的重复处理,每个接收节点也维持一份广播 ID 列表以记录广播分组创建者的地址及广播 ID。接收节点若发现所接收报文的广播 ID 比已知的还小则将其丢弃而拒绝处理。

2.2 网关发现与全局连接

增强型协议按综合方式^[3]进行网关发现。TTL(Time-To-Live)受限的网关通告分组被创建并广播到 MANET 中,收到此通告的 MN 据此建立指向网关的逆向路由。无法收到网关通告的 MN 在需要 Internet 连接时自行发送网关路由请求分组 RREQ_I 寻找,收到 RREQ_I 的网关则单播网关通告予以回复。外发的 IP 分组被封装成 AODV 分组经多跳中继到网关,网关解封后按常规 IP 路由机制转发至目标节点。若 MN 发现有多可用网关,则按最短路径优先原则进行选择并按 MIPMANET Cell Switching^[1]算法实施网关切换。

2.3 局部拓扑信息获取与维护

每个 MN,如 x,均通过交换 HELLO 分组而维持一个相邻节点集合 N_x 并存储于 NNL 中,根据 NNL 中的“Symmetric_Link”字段是否被设置, N_x 实际上被分为两个子集:对称邻居节点集合 N_x^s 和非对称邻居节点集合 N_x^a 。

x 在自己周期性广播的 HELLO 分组中新增对称邻居节点列表和非对称邻居节点列表两个字段并对应地将 N_x^s 与 N_x^a 包含在其中。源自某个 MN,如 h 的 HELLO 分组被 x 收到后,x 首先在自己的 NNL 中增加关于 h 的记录 R_h (若 R_h 已存在,则予以更新)。x 检索包含在 HELLO 分组中的 N_h^s 与 N_h^a 以确定自己是否位于其中,若在则将 R_h 的“Symmetric_Link”字段予以设置以表明 x 与 h 之间的链路对称。一旦 x 发现自己与 h 之间的链路对称,则会进一步检查集合 $T = N_x^s - N_h^s - \{x\}$ 是否为空,非空则将 R_h 的“Share_Neighbor”字段设置。若 h 在其 HELLO 分组中只笼统地包含 N_h 而不明确地将其区分为 N_h^a 与 N_h^s ,则可能存在某个节点 $m \in N_x^s$ 且 $m \in N_h^a$ 使得 $T = N_x^s - N_h^s - \{x\}$ 为空,如此将导致 x 认为自己并不拥有不同于 h 的邻居节点进而以后对自 h 而来的广播分组不予转播。若 x 执行转播的话则可能使 m 据之建立经 x 至 h 的替代可用路径。在另一方面,若 HELLO 分组中只包含对称邻居节点,则协议将因相邻节点(如 x 和 h)都在等待对方将自己加到对称邻居列表中并通过 HELLO 分组宣示而陷入死锁。类似的推导可以证明 x 只有将包含在 HELLO 分组的 N_x 明确地区分为 N_x^s 和 N_x^a 才能同时实现单向链路发现和广播风暴抑制。

最后,HELLO 分组的发送时刻被随机错开以避免潜在的报文冲撞。

2.4 单向链路的发现与克服

由于单向链路已经通过 NNL 得以标识并由 HELLO 分组定期予以刷新,因此就可以避免将(路由)建立在非对称路径上。以节点 x 收到中间节点 m 转发过来的网关通告而建立其全局路由为例,当 x 收到网关通告分组,即检索自己的 NNL 以判明 m 是否为自己的对称邻居,若是,则建立以 m 为下一跳的指向网关的逆向路由,否则拒绝建立逆向路由并将此网关通告丢弃。节点对于沿单向链路而来的路由控制分组(如 RREQ、RREQ_I、RREP 等)都一律予以丢弃,不建立逆向路由也不转发,如此既消除了路由计算中的单向链路也避免了因盲目转播路由分组而误导下游节点。

2.5 广播分组的智能转播

若节点 x 收到节点 m 转发给自己的广播路由分组 p,则采取如下步骤以避免无效甚至是有损的转播:

(1)x 根据 p 中的<源地址,广播 ID>二元组以及自己在广播 ID 列表中所保存的信息判断 p 是否属于重复接收,是则将 p 直接丢弃;否则执行(2);

(2)x 检索其 NNL 以确定 m 是否属于 N_x^s ,若 $m \notin N_x^s$ 则 p 将被直接被丢弃,只有当 $m \in N_x^s$ 才依据 p 进行路由计算并继而执行(3);

(3)x 在其 NNL 检索关于 m 的记录,若该记录的“Share_Neighbor”的字段被设置,也就是说 x 至少拥有一个 m 所没有的对称邻居节点,则 p 将被 x 转播,否则予以抛弃。

3 仿真结果

为了评价新协议性能,利用 NS2 测试了其拥有 50 个移动节点、覆盖区域为 800m × 600m(长 × 宽)的 MANET 提供 Internet 接入时的性能。在仿真区域的(50,300)、(750,300)处各配置了一个网关并在其上同时运行 AODV 和有线路由协议,每个网关通过一个路由器连接了一个作为宿的固定节点,两个路由器、路由器与网关及固定节点之间均通过 100Mbps 的有线网络互联。CBR 信源被设置在随机选择的 5 个 MN 上且

分别在一个随机的时间开启后持续至仿真结束。信源每秒发送 5 个分组(大小为 512B)，对应的信宿则是某个固定节点。MN 按照 Random Waypoint Mobility Model^[6] 随机运动, 最大运动速度不超过 V_{max} , 运动间隙暂停 5s。每次仿真运行 600 个仿真秒, 仿真结果曲线中的每个数据点代表在相同流量模型和 V_{max} 下以随机产生的运动场景运行 10 次仿真所得结果之均值。

为了营造单向链路环境, 将发射功率相同而接收功率阈值不同的无线收发器按不同的比例配置到网关和 MN 上, 以此营造单向链路比例不同的网络场景, 各个场景的具体配置参数见表 1(无线收发器的信号接收功率阈值已换算成以米为单位的接收范围)。

表 1 仿真参数配置

网关通告分组发送间隔/s	5	
网关通告分组 TTL	2	
Hello 分组发送间隔/s	1	
无线收发器接收功率 阈值及其数量	场景 1	网关和移动节点均为 150m
	场景 2	网关为 250m, 移动节点 150m
	场景 3	网关 250m, 35 个移动节点 150m, 其余移动节点 100m

首先测试了原始综合互联协议的性能。图 2 显示了其在不同 V_{max} 下的平均端到端分组传输延迟和分组递交率(信宿成功接收的数据分组与源节点发送分组之数量比)。

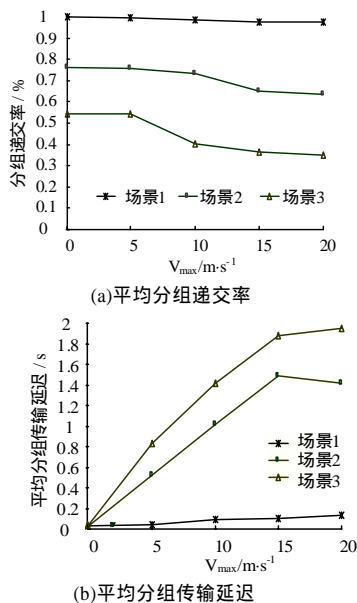


图 2 单向链路对于互联性能的影响

从中可以看到, 无单向链路存在时(场景 1), 该协议确能为 MANET 提供良好的连接性能。但一旦网关与 MN 之间存在单向链路, 即使 MANET 内部链路均为对称(场景 2), 其互联性能也将显著恶化。倘若 MANET 内部也存在单向链路(场景 3), 其互联性能将进一步恶化。

以完全相同的参数测试了增强型互联协议在场景 3 下的性能, 结果如图 3 所示。从中可以看到, 增强型互联协议的分组递交率和平均分组传输延迟等性能指标均显著优于原综合协议(图 3(a)~图 3(b))。究其原因主要有: (1)路由计算时单向链路的清除。由于原综合协议未意识到单向链路的存在(虽然也使用了 HELLO 机制)而使用包含单向链路的路由发送数据, 在路由失败后还无益地重新进行路由发现, 而缓存的数

据分组最终因超时而被丢弃。(2)不再盲目地转播广播路由分组, 只有沿对称链路而来且能覆盖新节点的广播路由分组才被执行转播。从图 3(c)可见, 如此使得广播分组的转播次数显著减少。转播次数的减少降低了信道竞争和报文碰撞的机会而互联性能由此得以提升。转播次数的减少也使增强型协议的整体开销要明显少于原始综合协议的。

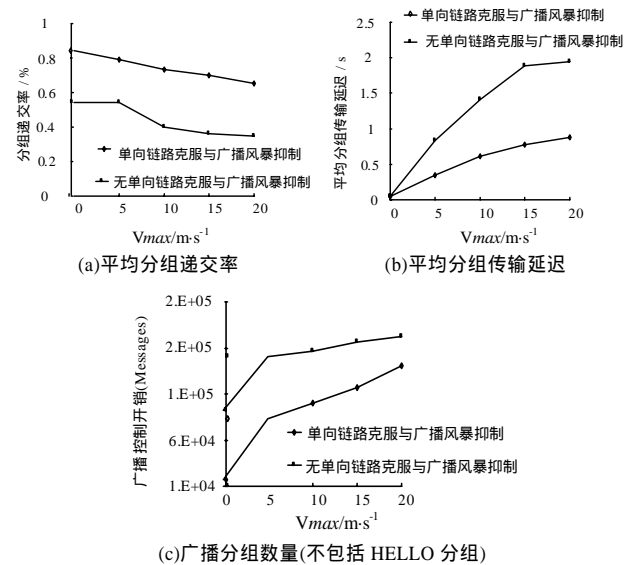


图 3 增强型互联协议在不同移动速度下的性能

4 结论及下一步工作

仿真结果显示既有的 MANET 与 Internet 互联协议一旦应用到单向链路普遍存在的实际环境中, 则其互联性能将明显恶化。而此类方案对网关发现报文的简单洪泛和盲目转播所导致的广播风暴使问题更加严重。本文创造性的让 AODV 的 HELLO 分组携带对称邻居节点列表和非对称邻居节点列表, 使得相邻节点通过交换 HELLO 分组而了解彼此之间的链路的对称性以及对称邻居节点的重合程度, 据此既消除了路由计算时的单向链路, 也取消了对广播分组无效甚至有害的转播, 结合综合网关发现协议的使用, 使得互联性能得到显著改善而开销却显著降低。

参考文献

- Jonsson U, Alriksson F, Larsson T. MIPMANET: Mobile IP for Mobile Ad Hoc Networks[C]//Proc. of IEEE/ACM Workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing, Boston MA. 1999.
- Wakikawa R, Malinen J T, Perkins C E. Global Connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks[Z]. IETF, Internet Draft, 2003.
- Ratanchandani P, Kravets R. A Hybrid Approach to Internet Connectivity for Mobile Ad hoc Networks[C]//Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2003.
- Perkins C, Belding R E, Das S. Ad Hoc on Demand Distance Vector Routing[S]. IETF, RFC 3561, 2003.
- Ni S, Tseng Y, Chen Y. The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network[C]//Proceedings of ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. 1999.
- Broch J, Maltz D A, Johnson D B. A Performance Comparison of Multihop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols[C]//Proc. of the 4th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. 1998.