

移动 Ad hoc 网络中基于控制域的网络管理及拓扑生成^{*})

闻英友 刘治国 王光兴

(东北大学计算机应用研究所 沈阳 110004)

摘要 结合实际的移动 ad hoc 网络管理研究,针对以往 ad hoc 网络管理体系缺乏可扩展性的问题,同时考虑网络中节点的能力差异性,引入了动态的网络管理控制域并定义了管理控制域的生成与合并过程,在此基础上提出了一种动态分布式的 ad hoc 网络管理体系,并利用管理控制域的生成过程实现了 ad hoc 网络中的拓扑管理。仿真结果表明,网络中的管理控制域生成算法能够适应网络节点移动性的特点,具有可靠的控制域划分能力。在此基础上的 ad hoc 网络拓扑生成具有较好的准确性和可靠性。

关键词 ad hoc 网络,网络管理,无线通信,拓扑管理,域划分

Network Management and Topology-Generation Based on Control Domain in Mobile Ad Hoc Network

WEN Ying-You LIU Zhi-Guo WANG Guang-Xing

(Computer Application Research Center, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract In most of existing network management architectures of ad hoc network, extensibility is not considered properly. To solve this problem, we adopted a new concept of network control domain and specify the process of generation and combination of domain in our study of ad hoc networking. On this base, dynamic distributed network management architecture is adopted and topology generation based on control domain is proposed too. Simulation output shows that, generation of control domain is commendably adapted to mobility of node in ad hoc network and demonstrates a good performance in domain partition. Topology achieved on the basis of control domain shows better accuracy and reliability.

Keywords Ad hoc, Network management, Wireless communication, Topology management, Domain generation

1 引言

移动 Ad Hoc 网络(MANET)是一种相对于传统有基站无线网络而言的一种无中心结构通信网,也被称为自组网。从最初的产生来看,Ad Hoc 网络主要面向军事用途以及抢险救灾等应急任务,但随着无线通信技术的发展和大量个人移动设备的出现,传统意义上的 Ad Hoc 网络逐渐开始面向商用领域。特别是近年来,随着移动设备的小型化,Ad Hoc 网络已经开始参与到个人通信网络的建立。利用 Ad Hoc 进行组网具有灵活,便捷和迅速的特点。相较于现有的一些有中心结构网络来说,具有更低的建设成本和更大的普及空间。由于无线网络的动态结构特点,如何进行高效的网络管理,是 Ad Hoc 实际网络应用中必须解决的关键问题。

对于 Ad Hoc 网络的网络管理问题,国内外进行了许多研究工作^[1~4]。绝大多数现有的网络管理都是基于简单网络管理协议 SNMP 所提出的改进方案。在整个网络管理体系上还没有形成完全适合动态特点网络的整体构想,同时现有的网管体系中缺乏对于可扩展性以及与现有系统的兼容性的考虑。另一方面,由于移动 Ad Hoc 网络中节点的移动特性,网络中有效的管理操作在很大程度上依赖于网络拓扑管理的有效性和可靠性,尽管针对此问题提出了很多解决的方案,但大多数方案都不适用于大型的网络^[5~7]。为此,引入了一种具有可扩展性的动态分布式的网络管理体系,并提出了一种基于管理控制域的拓扑生成。

2 动态分布式的 Ad Hoc 网络管理体系

不同于传统 Ad Hoc 网络管理中的集中式网络管理思想,为了适应网络的可扩展性以及与现有网络的可兼容性。同时考虑 Ad Hoc 网络所具有的资源 and 通信能力、计算能力的受限性,采用了一种动态分布的网络管理体系结构。由于 Ad Hoc 网络中节点设备的差异性,在网络管理中必须充分考虑各节点在电源能力、计算能力上的不同,承认各节点在网络管理中的角色差别,重新定义网络中各节点在管理中的作用。为此将节点划分为被管理节点,管理域控制节点和网络管理节点。这种角色上的划分更适合于实际网络管理信息的有效利用和网络管理行为的有效发动。

管理域控制节点由 Ad Hoc 网络中通信和计算以及电源能力较强的节点承担。它负责一定范围内的管理域通告信息的发送,拓扑状态信息的收集,同时负责网络管理节点授意下的管理信息的获取和管理行为的发动。整个 Ad Hoc 网络中的管理域控制节点的数目取决于网络实际规模的大小。各控制域之间的边界由控制域生成过程自动维护,这种自动维护扩大了网络管理的覆盖范围,提高了网络管理的鲁棒性和网络管理的可扩展性。由于这种控制域的生成具有半强制性性质,因此减少了以往动态簇生成算法所带来的复杂的操作和变更过程。相对于传统的成簇管理来说,具有较强的可操作性。管理域控制节点同时也提供了与其他无线网络及有线网络互连的有效的接入手段。

被管理节点是分布于整个网络各个管理控制域中的普通被管对象,每个普通节点可以作为各管理域内节点也可以作

^{*} 国家高技术研究发展项目(2003AA712032)。闻英友 博士研究生,研究方向:网络管理及重构、Ad Hoc 网络、移动通信;王光兴 教授,博士生导师,研究方向:网络管理、宽带网技术,移动通信。

为各管理控制域的边界节点。域内节点接收本管理控制域节点的管理。边界节点接收距离自己最近的控制域节点的管理并负责转发各域间的交互信息。

Ad hoc 网络中的网络管理节点与传统的有线网络和中心结构网络中的管理站有所区别,其本身也具有移动的特性。为此,其管理功能的发挥必须借助管理域控制节点。通过网络中的多个管理域控制节点支持管理节点的移动,同时扩大管理的有效覆盖范围。由于网络管理节点在不同管理控制域内移动,因此,可以在任何时候与各管理域控制节点交互并完成管理行为的发动。

3 基于管理控制域的拓扑生成

网络管理系统的主要任务从根本上说包括两个方面。一方面是完成对管理信息的收集,另一方面是通过对管理信息的加工和处理做出相应的管理决策并采取一系列管理行为。管理信息的收集和网管行为的发动都依赖于有效的网络拓扑管理和合理的网络管理域划分。对于网元构成高度动态的 Ad Hoc 网络来说,由于节点所具有的移动性以及网络的自组织性和动态性,网络的拓扑管理是必须解决的关键问题。

由于 Ad Hoc 网络通常所具有的自组织特性,网络节点的角色变更比较频繁。基于控制域的网络管理结构比较好地支持了各种角色的交替,能够灵活适应各种规模网络的管理需求以及和现有网络系统的交互。同时,管理控制域的建立也减少了网管协议(如传统的 SNMP 和 ANMP)操作的作用范围从而降低了网络负载。

3.1 网络管理控制域的生成

管理控制域类似于传统 Ad Hoc 网络中生成簇的概念。与传统 Ad Hoc 簇结构不同的是管理控制域的生成由特定的域控制节点发起,域内节点被动响应。这种域的生成具有半强制性,因此具有较简单的操作机制,也具有一定的灵活性和动态性,更能够适应动态 Ad Hoc 网络的组网需要。另一个与传统 Ad hoc 中簇的概念不同的是,管理控制域的区域范围更大,不再局限于一跳或两跳。

控制域形成的初始阶段,首先由域控制节点发送广播通告。接收到通告的节点记录域控制节点的地址以及通告来源地址,同时设定超时,这样该节点在逻辑上确定了自身管理域的归属。进而转发此广播通告分组。若一个节点接到不同节点转发的通告,则记录首先到达的分组而丢弃序号相同的重复分组。通过通告分组,在逻辑上建立了以域控制节点为中心的域。至此,管理控制域生成。而域的维护则通过各域控制节点定期广播来维持。

如果一个节点同时接到两个域控制节点的通告,则此节点成为边界节点。边界节点停止转发通告分组,以此建立不同域的边界。同时边界节点负责转发控制域节点间的跨域管理操作。

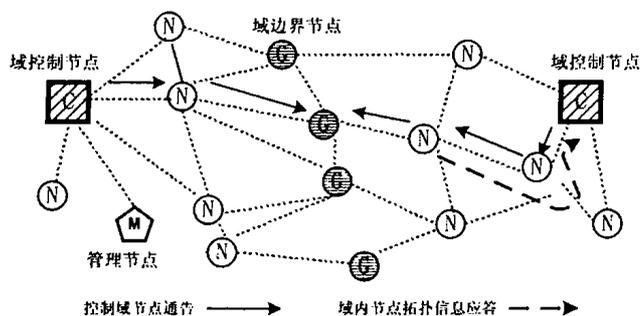


图1 控制域通告的发送与域边界的形成

3.2 管理控制域的合并

由于管理域控制节点的移动性,因此,网络中的管理控制域也处于动态变化中。当两个不同的域控制节点成为邻节点时,就要发动控制域的合并过程。合并的原则可以根据网络的特点和网络的应用目标有多种选择。我们采用了节点标识大小作为合并后域控制节点的产生原则,即选取节点标识 ID 号大的节点做为合并后控制域的控制节点。标识号小的控制节点停止发送通告,原控制域的普通节点在域控制节点地址记录超时后自动接收新的管理控制域通告并向新的控制节点发送拓扑信息。

3.3 网络的拓扑结构生成

域内节点检测能够到达自己的邻节点,这样形成各节点的自指向拓扑,即记录可到达自己的所有邻节点。这种拓扑兼顾了单向链路存在的可能即记录可到达自己的所有邻节点。各节点将此记录传送给域控制节点,传送路径为接收域通告的上游节点。节点拓扑信息的传递频率取决于节点的移动速度和邻居节点的变化情况。若上游节点失效(离开或休眠),则将此拓扑状态更新分组以一跳为限进行广播。接收到此广播的节点自动转发给自己的上游节点,若不能转发则直接丢弃,不再进行转发。

域控制节点在接收到各节点的链路状态分组后,记录更新分组序号,并更新自己的域内逻辑拓扑。对于收到的重复或过期分组执行简单的丢弃。同时控制域节点计算各节点拓扑通告的频度以此判定网络拓扑的变化情况,并根据此情况调整控制域通告的发送频率。网络移动性越高,发送频率越快,以此获得更准确的拓扑信息。

控制域节点通告的发送频率调整公式:

$$T_{csend,t_2} = T_{csend,t_1} * \sum_{i=1}^{N_2} \frac{NUM_{i,recv,t_2} - NUM_{i,recv,t_1}}{N_2 * (t_2 - t_1)} / \sum_{i=1}^{N_1} \frac{NUM_{i,recv,t_1} - NUM_{i,recv,t_0}}{N_1 * (t_1 - t_0)} \quad (1)$$

其中 $T_{csend,t_2}, T_{csend,t_1}$ 分别为 t_2 和 t_1 时刻控制域节点的通告发送周期, $NUM_{i,recv,t_2}, NUM_{i,recv,t_1}, NUM_{i,recv,t_0}$, 分别为 t_2, t_1, t_0 时刻域控制节点收到的第 i 个节点的拓扑更新。 N_2, N_1 为 t_2 和 t_1 时刻域内节点数。通过上述域控制节点通告频率的调整来适应网络的移动特性从而减少管理控制域通告发送给网络带来的影响,同时获得尽可能准确的网络拓扑信息。

网络管理节点通过所在域的域控制节点发送给各域控制节点拓扑查询信息,并生成全网的拓扑状态。

4 仿真实验

为了验证管理控制域生成与合并算法的有效性以及拓扑信息管理的准确性。利用 ns-2 仿真软件对管理控制域生成进行了仿真实验。

4.1 管理控制域的生成

图2为利用 ns-2 仿真所获得的管理域的生成和合并结果。50个节点在 1200×1000 米范围内自由移动,预设两个控制域节点,即 $Node_0$ 和 $Node_1$ 节点。所有节点都具有相同的信号接收阈值,即各节点的无线发射设备具有相同的覆盖半径。MAC 接入采用 802.11 DCF,传播延迟为 $44\mu s$ 。节点移动速度分别取 $0 \sim 10$ 米/s 之间的均匀分布随机变量。仿真持续 200 秒,左图为 27.6 秒时网络的管理控制域分割,其中 8, 25, 49 为边界节点。右图为 105 秒时的 $Node_0$ 控制域和 $Node_1$ 控制域合并后的网络拓扑。

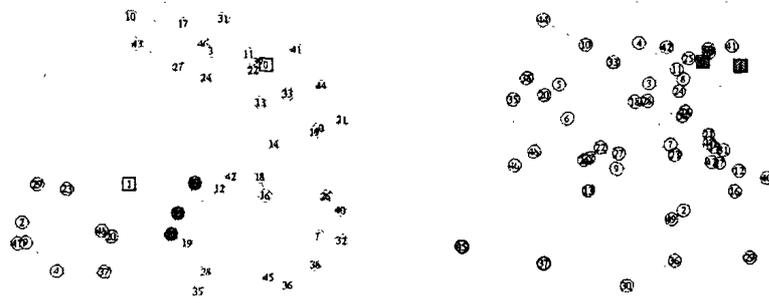


图2 管理控制域的形成与合并

4.2 拓扑生成的有效性

为了进一步衡量拓扑管理信息获取的有效性,我们定义了主要的评价指标,即管理节点能够获得的拓扑链路中稳定的链路数,所谓稳定的链路定义为在一定时间内能够完全正

确传输数据的拓扑连接。它体现了拓扑管理的准确性和可靠性。节点发现率是指在整个网络中被包含进各管理控制域的节点数与网络中的节点总数的比值。它体现了拓扑管理的有效性。

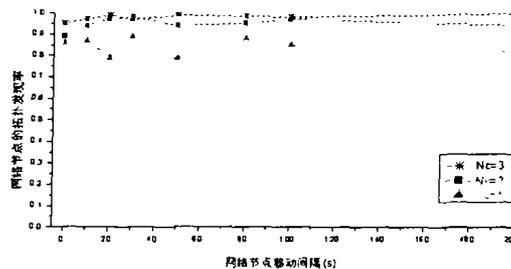
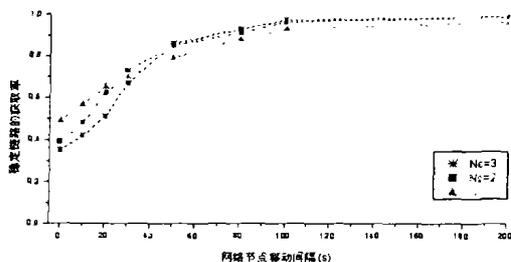


图3 Ad Hoc 网络管理拓扑生成的链路获得率和节点发现率

图3为ns-2仿真所获得的拓扑生成性能评价。100个节点在 1000×1000 米的范围内以 $0 \sim 15$ 米/s的速度随机移动,节点的停留时间分别设为10s至100s之间的固定值以获得不同的拓扑变化率。分别在网络中设置1、2、3个域控制节点。

仿真结果表明可靠链路的信息获取在网络拓扑变化率较低时具有很高的准确性。在拓扑变化率较大时,当网络中只有一个控制域时,获取的稳定链路要优于多个控制域存在的情况,这主要是由于在中等规模网络情况下,跨域的操作时延比较长造成的,而在大型网络中,控制域的增加会明显提高可靠链路的获取率。另一方面,仿真结果也表明,控制域的增加有助于提高网络中节点的发现率。

结论 由于移动Ad hoc网络中节点的移动特性,网络中有效的管理操作在很大程度上依赖于网络拓扑管理的有效性和可靠性。而现有的Ad hoc网管体系中缺乏对于可扩展性以及兼容性的考虑,因此大多数现有的拓扑生成都不适用于大型的网络。为此,引入了一种具有可扩展性的动态分布式的网络管理体系,并提出了一种基于管理控制域的拓扑生成。仿真结果分析表明,网络中的管理控制域生成算法能够适应网络节点移动性的特点,具有可靠的控制域划分能力。在此基础上的Ad hoc网络拓扑生成具有较好的准确性和可靠性。今后的工作将主要集中在动态分布式管理模式下的网络拓扑调整和重构算法的研究上。

参考文献

- 1 Chen W, Jain N, Singh S. ANMP: Ad hoc network management protocol. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1999, 17(8): 1506~1531
- 2 Kidston D, Robinson J. Distributed Network Management For

- Coalition Deployments. In: the Proc. of the IEEE Military Communications Conf. (MILCOM), 2000, 1: 460~464
- 3 Schwartz B, Jackson A W, Strayer W T, Zhou W, Rockwell R D, Partridge C. Smart Packets: Applying active Networks to Network Management. *ACM Transactions on Computer Systems* 18, Feb. 2000
- 4 Nicodemos C D. A Policy Framework for Management of Distributed Systems: [PhD thesis]. Faculty of Engineering of the University of London. London, Feb. 2002
- 5 Roy Choudhury R, Bandyopadhyay S, Paul K. A distributed mechanism for topology discovery in ad hoc wireless networks using mobile agents. In: IEEE First annual workshop on Mobile and Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc), 2000. 145~146
- 6 Deb B, Bhatnagar S, Badrinath B R. A Topology Discovery Algorithm for Sensor Networks with Applications to Network Management: [Technical Report DCS-TR-441]. Dept. of Computer Science, Rutgers University, May 2001
- 7 Shen Chien-Chung, Chaiporn J, Chavalit S, Huang Zhuochuan. The Guerrilla Management Architecture for Ad hoc Networks. In: Proc. of IEEE MILCOM, Anaheim, California, USA, Oct. 2002
- 8 Martin W, Hans-Rüdiger P. Group Formation in Computer-Supported Collaborative Learning. In: Proc. of the ACM Group 2001 Conf. 2001, Boulder, USA, 2001. 24~31
- 9 Bellur B, Ogier R G. A reliable, efficient topology broadcast protocol for dynamic networks. In: Proc. IEEE INFOCOM 1999, March 1999
- 10 Wen Yingyou, Feng Yongxin, Wang Guangxing. A Reconfiguration Algorithm with QoS Guaranteed in Mobile Ad Hoc Network. In: Proc. of ICCT2003, 2003. 1246~1250