

一种 MANET 地址自动配置方案*

王晓喃¹, 钱焕延²

(1. 常熟理工学院, 江苏 常熟 215500; 2. 南京理工大学, 南京 210094)

摘要: 提出一种 MANET 地址自动配置方案, 给出了 MANET 网络体系结构以及构建网络体系结构的算法。在此体系结构下, 新节点可以在一跳范围内的代理节点获取具有唯一性的地址, 且无须执行地址重复检测, 失效节点的地址可以自动被回收。对 MANETConf、Prime DHCP 以及本方案的性能参数进行了比较分析, 性能参数包括地址配置代价及地址配置延迟时间, 分析结果验证了本方案的地址配置代价更低, 地址配置延迟更短。

关键词: 移动自组网; 地址配置; 节点; 合并

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)08-3128-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.08.085

Address configuration scheme for MANET

WANG Xiao-nan¹, QIAN Huan-yan²

(1. Changshu Institute of Technology, Changshu Jiangsu 215500, China; 2. Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: The paper proposed an address configuration scheme for MANET. It proposed the architecture for MANET and the algorithm of constructing the architecture for MANET. In the architecture, a new node could acquire a unique address from a proxy node within one-hop scope without performing the duplicate address detection (DAD) process, and the address resources occupied by failed/removed nodes could be recovered automatically for reuse. The paper compared the performance parameters of the proposed scheme and the existing schemes including MANETConf and Prime DHCP. The comparative results show that the address configuration cost is lower and the delay is shorter.

Key words: mobile Ad hoc; address configuration; node; merging

移动自组网(mobile Ad hoc network, MANET)是由多个移动节点组成的不依赖任何基础通信设施的多跳无线网络。在 MANET 中, 每个节点都可以随意移动, 由于节点无线覆盖范围的有限性, 两个无法直接进行通信的节点借助中间节点进行分组转发, 因此每个节点同时又是一个路由器。在 MANET 中, 移动节点进行通信前必须先配置一个具有唯一性的地址, 因此, MANET 首先要解决的是移动节点的地址配置问题。

在传统网络中, 地址配置方案分为有状态地址配置和无状态地址配置两种形式。有状态地址配置方案采用服务器/客户端的通信方式分配地址, 即节点向服务器提出申请地址的请求, 然后由服务器统一为网络内的节点分配地址。由于 MANET 没有任何基础设施, 因此, 有状态地址配置方案无法应用到 MANET 中。在无状态地址配置方案中, 每个被分配的地址都需要在整个网络中进行重复地址检测以确保它的唯一性, 导致了大量的控制包开销, 消耗了大量的网络资源, 因而不适用于 MANET 使用。

因此, 针对 MANET 需要建立一种低开销的地址自动配置方案。

1 地址自动配置方案

1.1 定义及数据结构

连接关系: 当节点 A 与节点 B 能够直接通信或者通过中

间节点间接通信时, 节点 A 与节点 B 具有连接关系。

子网: 由多个节点组成, 其中节点之间可以直接通信或者通过中间节点进行间接通信。

已配置节点: 已配置节点 ID 的移动节点, 定期广播 Adv 消息, Adv 消息负载为已配置节点所在子网的子网 ID 以及其处于未分配状态孩子节点总数。

地址树: 多个具有连接关系的节点组成的树状结构, 一个子网包含一个地址树。

本方案中, MANET 由多个子网组成; 每个子网由子网 ID 唯一标志, 由一个地址树构建而成; 一个子网由多个 Ad hoc 节点构成; 每个节点由一个节点 ID 标志, 节点 ID 在子网内具有唯一性, 如果节点 ID 由 i 比特构成, 那么一个子网的地址空间为 $[0, 2^i - 1]$ 。子网 ID 在地址树构建过程中通过随机函数获取, 节点 ID 通过地址树进行自动配置, 如图 1 所示。

地址树中每个节点最多可包含 S 个孩子节点, 每个孩子节点对应一个孩子记录, 包括如下域: 孩子值 c ($1 \leq c \leq S$) 以及孩子节点状态(未分配状态和已分配状态)。其中, i 和 S 值根据 MANET 的规模来设置。

1.2 地址树建立

当一个孤立节点加入 MANET 后, 如果在规定时间内没有收到任何已配置节点广播的 Adv 消息, 它则开始建立地址树, 其过程如下:

a) 孤立节点 X 在一跳范围内广播 Tree 消息, 消息负载为时间戳和随机产生的子网 ID。

b) 邻居节点收到 Tree 消息后, 如果邻居节点已经具有父节点, 则放弃此消息, 否则保存 Tree 消息; 如果此 Tree 消息的优先级不小于以前接收到的以及自己发送的 Tree 消息的优先级, 则向邻居节点转发 Tree 消息。在规定时间内 (大于贯穿 MANET 的时间), 如果邻居节点发送的 Tree 消息的优先级最高, 则将自己标志为根节点; 否则, 将转发优先级最高的 Tree 消息 (如果有多个优先级最高的 Tree 消息, 则选择最后转发的 Tree 消息) 的邻居节点作为父节点。重复上述过程, 直到与孤立节点 X 具有连接关系的所有节点都收到 Tree 消息为止。

c) 在规定时间内, 如果孤立节点 X 没有收到高于自己发送的 Tree 消息的优先级的 Tree 消息, 则将自己标志为地址树的树根节点; 否则, 加入已发送优先级最高的 Tree 消息的节点为根节点的地址树, 即将转发优先级最高的 Tree 消息的邻居节点作为父节点。

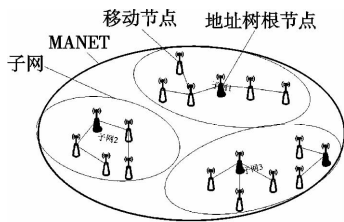


图1 MANET体系结构

如果有多个节点同时发送 Tree 消息且消息中的时间戳和随机数都相同, 则一个子网包含多个地址树, 此时多个地址树执行合并操作, 直到一个子网只包含一个地址树为止。

1.3 孤立节点加入地址树

地址树初始化结束后, 新加入 MANET 的孤立节点以及在初始化中没有获取节点 ID 的孤立节点在规定时间内会收到多个已配置节点广播的 Adv 消息, 它选择 Adv 消息中可供分配孩子节点总数最大的节点作为父节点, 并通过下述过程获取地址:

a) 孤立节点向父节点单播发送请求地址的 Req 消息。

b) 父节点收到孤立节点发送的 Req 消息后, 查看孩子节点记录表, 选择最小未分配孩子节点值对应的记录, 并向孤立节点返回一个 Res 消息, 消息负载为分配的孩子节点值 c ($1 \leq c \leq S$), 同时将此孩子节点的状态标志为已分配状态。

c) 孤立节点收到 Res 消息后, 根据式(1)获取自己的节点 ID。其中 x 为父节点的 ID, 将节点 ID 与子网 ID 结合形成自己的地址, 同时将自己标志为已配置节点, 并建立孩子节点记录表, 每个记录表项的孩子节点值为 k ($1 \leq k \leq S$), 并根据式(1)判断对应孩子节点的节点 ID 是否大于 $2^i - 1$ 。如果大于, 则将孩子节点设置为未分配状态; 否则设置为已分配状态, 然后在一跳范围内广播 Adv 消息。

$$y = S \cdot x + c \quad (1)$$

d) 孤立节点加入地址树并获取地址。

1.4 地址回收

本方案中, 节点获取地址后, 它定期向父节点发送 Update 消息以示自己处于工作状态; 父节点收到子节点的 Update 消息后, 向子节点回复 Update_Ack 消息。

如果在规定时间内, 父节点没有收到子节点的 Update 消息, 则认为子节点失效或者脱离了当前的子网, 因此将子节点对应的孩子节点值设置为未分配状态。如果子节点在规定时间内没有收到父节点的 Update_Ack 消息, 它则认为父节点消失或者脱离了当前的子网, 因此将自己表示为孤立节点, 重新创建或者加入地址树获取地址。

1.5 子网合并

已分配节点 A 收到邻居节点 B 广播的子网 ID 后, 在下述两种情况下进行子网合并操作:

a) 节点 A 与节点 B 的子网 ID 不同;

b) 节点 A 与节点 B 的地址相同。

本方案中, 子网 1 中的节点 A 检测到子网 1 需要和子网 2 进行合并操作后, 如果节点 A 中处于未分配状态的孩子节点总数大于 0, 它则执行合并操作, 否则请求父节点执行合并操作。

子网 1 中的节点 A 执行与子网 2 的合并操作, 其具体步骤如下:

a) 节点 A 向子网 2 的根节点 R 发送 Merge 消息, 消息负载为子网 1 的子网 ID。

b) 节点 R 收到 Merge 消息后, 将节点 A 作为父节点, 并向父节点返回 Merge_Ack 消息。

c) 节点 A 收到 Merge_Ack 消息后, 选择最小未分配孩子节点值对应的记录, 并向节点 R 返回一个 Res 消息, 消息负载为记录中的孩子节点值, 同时将此记录的状态标志为已分配状态。

d) 节点 R 收到 Res 消息后, 根据式(1)获取新的节点 ID, 并将子网 1 的子网 ID 与节点 ID 相结合形成地址, 同时查看孩子节点列表, 如果孩子节点状态为已分配状态, 则向其发送 Addr_change 消息, 消息负载为节点 R 新的节点 ID 以及子网 1 的子网 ID。

e) 孩子节点收到 Addr_change 消息后, 根据式(1)获取新的节点 ID, 其中 x 为父节点新的节点 ID, c 为父节点分配的原始孩子节点值, 如果新的 ID 大于 $2^i - 1$, 则标志为孤立节点; 否则将新的节点 ID 与子网 1 的子网 ID 结合形成地址。然后查看孩子节点列表, 并向孩子节点状态为已分配状态的孩子节点发送 Addr_change 消息, 消息负载为其新的节点 ID 以及子网 1 的子网 ID。重复上述过程, 直到子网 2 中所有节点都获取了新的地址。

f) 子网 1 和子网 2 合并成功, 合并后的子网 ID 为子网 1 的子网 ID。

在某些特殊情况下, 如果子网 1 的子网 ID 与子网 2 的子网 ID 相同, 那么 A 所在地址树的根节点与 B 所在地址树的树根节点相同, 在这种情况下, 只有节点 A 的节点 ID 与节点 B 的节点 ID 相同, 节点 A 才能判断需要执行子网合并操作。此时, 节点 A 发送的 Merge 消息的单播路径通过节点 B 所在的地址树完成, 即 Merge 消息首先到达节点 B , 然后由节点 B 将 Merge 消息发送给其父节点, 父节点再将 Merge 消息转发给其父节点, 依此类推, 直到 Merge 消息最终到达节点 B 所在地址树的树根节点。

2 性能分析

NS-2 仿真平台的仿真参数如表 1 所示。对地址配置总代价及地址配置总延迟等性能参数进行了比较分析。其中,地址配置总开销是指 MANET 中所有节点均具有唯一性地址所需要发送的控制包总数;地址配置总延迟时间是指从网络初始化到所有节点均具有唯一性地址的时间间隔。

表 1 参数设置

参数名称	参数值
通信范围	250 m
MAC 协议	IEEE 802.11
传输层协议	UDP
仿真区域	750 m × 750 m
节点总数	10 ~ 50

当评估地址配置总代价及总延迟时,MANET 的初始状态只包含网关节点,实验将多个传感器节点同时加入到 MANET 中获取地址配置总代价及总延迟的仿真数据,分析结果如图 2 和 3 所示。

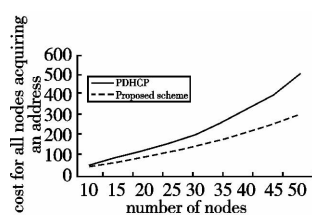


图 2 地址配置总代价

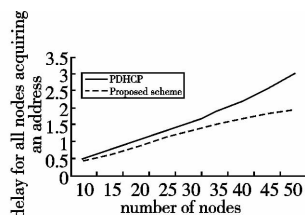


图 3 地址配置总延迟

3 结束语

本文提出一种 MANET 地址自动配置方案,此方案实现了地址分配的动态性、唯一性和可扩展性。本方案中,代理节点使用地址分配算法为新节点分配为具有唯一性的地址,从而将地址分配任务均匀地分布到多个节点,无须执行地址重复检测。此外,新节点申请地址的控制信息的传输范围控制在一跳范围内,降低了地址配置代价,缩短了地址配置延迟。本文对 MANETConf、Prime DHCP 以及本方案的性能参数进行了比较分析,性能参数包括地址配置代价及地址配置延迟时间,分析结果验证了本方案的地址配置代价更低、地址配置延迟更短。

参考文献:

- [1] DROMS R. RFC 2131, dynamic host configuration protocol[S]. [S. l.]: IETF, 1997.
- [2] THOMSON S, NARTEN T, JINMEI T. RFC 4862, IPv6 stateless address autoconfiguration[S]. [S. l.]: IETF, 2007.
- [3] MOORE N. RFC 4429, optimistic duplicate address detection (DAD) for IPv6[S]. [S. l.]: IETF, 2006.
- [4] GHOSH U, DATTA R. A secure dynamic IP configuration scheme for mobile Ad hoc networks[J]. 2011, *Ad hoc Networks*, 9(7): 1327-1342.
- [5] ZHOU Hong-bo, MUTKA M W, NI L M. Secure prophet address allocation for MANETs[J]. *Security and Communication Networks*, 2010, 3(1): 31-43.
- [6] LI Long-jiang, CAI Yue-ze, XU Xiao-ming. Domain-based autoconfiguration framework for large-scale MANETs[J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2009, 9(17): 938-947.
- [7] SHIN H, TALIPOV E, CHA H. IPv6 lightweight stateless address auto-configuration for 6LoWPAN using color coordinators[C]//Proc of IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications. [S. l.]: IEEE Computer Society, 2009: 1-9.
- [8] NESARGI S, PRAKASH R. MANETconf: configuration of hosts in a mobile Ad hoc network[C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2002: 1059-1068.
- [9] ZHOU H, NI L M, MUTKA M W. Prophet address allocation for large scale manets[C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2003: 423-434.
- [10] SUN Y, ROYER E M. A study of dynamic addressing techniques in mobile Ad hoc networks[J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2004, 4(3): 315-329.
- [11] PERKINS C, MALINEN J T, WAKIKAWA R, et al. IP address auto-configuration for Ad hoc networks[S]. 2001.
- [12] VAIDYA N H. Weak duplicate address detection in mobile Ad hoc networks[C]//Proc of ACM MobiHoc. 2002: 206-216.
- [13] WENIGER K. PACMAN: passive autoconfiguration for mobile Ad hoc networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, 23(3): 507-19.
- [14] MANSI R T, RAVI P. A distributed protocol for dynamic address assignment in mobile Ad hoc networks[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2006, 5(1): 4-19.
- [15] JOBIN J, KRISHNAMURTHY S V, TRIPATHI S K. A scheme for the assignment of unique addresses to support self-organization in wireless sensor networks[C]//Proc of Vehicular Technology Conference. 2004: 4578-4582.
- [16] TALIPOV E, SHIN H, HAN S, et al. A lightweight stateful address autoconfiguration for 6LoWPAN[J]. *Wireless Network*, 2011, 17(1): 183-197.
- [17] GAMMAR S M, AMINE E, KAMOUN F. Distributed address auto configuration protocol for Manet networks[J]. *Telecommunication Systems*, 2010, 44(1-2): 39-48.
- [18] HUSSAIN S R, SAHA S, RAHMAN A. SAAMAN: scalable address autoconfiguration in mobile Ad hoc networks[J]. *Journal of Network and Systems Management*, 2010, 18(3): 394-426.
- [19] SUN Y, BELDING-ROYER E M. Dynamic address configuration in mobile Ad hoc networks[R]. Santa Barbara: UC Santa Barbara, 2003.
- [20] SUN Y, BELDING-ROYER E M. A study of dynamic addressing techniques in mobile Ad hoc networks[J]. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2004, 4(3): 311-329.
- [21] GHOSH U, DATTA R. ADIP: an improved authenticated dynamic IP configuration scheme for mobile Ad hoc networks[J]. *International Journal Ultra Wideband Communication & System*, 2009, 1(2): 102-117.
- [22] WANG Xiao-nan, ZHONG Shan. An IPv6 address configuration scheme for wireless sensor networks based on location information[J]. *Telecommunication Systems*, 2011, 49(1): 1-10.
- [23] HSU Y Y, TSENG C C. Prime DHCP: a prime numbering address allocation mechanism for MANETs[J]. *IEEE Communications Letters*, 2005, 9(8): 712-714.
- [24] KIM S, CHUNG J. Message complexity analysis of mobile Ad hoc network address auto-configuration protocols[J]. *IEEE Trans on Mobile Computing*, 2008, 7(3): 356-371.
- [25] WENIGER K. Passive duplicate address detection in mobile Ad hoc networks[C]//Proc of ACM Mobile Ad Hoc Networking and Computing. 2002.