

文章编号: 1001 - 893X(2011)01 - 0056 - 05

# MANET 中 IP 地址自动配置算法设计\*

卿 利

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

**摘要:**分析了具有全球连接的移动自组织网络中地址自动配置需要解决的地址唯一性、网络分裂与融合等关键问题, 针对现有地址自动配置算法实现复杂、扩展性差、时延过长等不足, 设计了一种自组织网络地址自动配置算法。该算法采用代理分配和自主分配相结合的方式, 实现初始地址的快速分配, 并在路由协议中引入虚拟地址概念, 以维护本地地址的唯一性。算法自动发现和选择默认出口网关, 由网关分配全球唯一 IP 地址。所提出的方案具有开销小、实现简单、支持频繁的网络融合和分裂等优点, 可适用于拓扑动态变化的自组织网络地址配置需要。

**关键词:**移动自组织网络; 地址自动配置; 全球连接

中图分类号: TP393 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2011.01.012

## Design of an IP Address Auto - configuration Algorithm for MANET

QING Li

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** In MANET (Mobile Ad Hoc Network) with global connectivity, an IP address auto - configuration scheme should be able to ensure address uniqueness and deal with problems caused by network merging and partitioning. In this paper a novel address auto - configuration algorithm that works with global connected MANET is designed. A node can be allocated a local address quickly based on an address agent or by oneself. The virtual address is used to detect address duplication, which simplifies the DAD (Duplication Address Detection) mechanism. An outdoor gateway is chosen automatically to assign the global address. With the advantage of low overhead and simple operation even under the situation of frequent network partitioning and merging, it is applicable to large - scale MANET.

**Key words:** mobile Ad Hoc network (MANET); address auto - configuration allocation; global connectivity

### 1 引言

移动自组织网络 (Mobile Ad Hoc Network, MANET) 包括全球连接 MANET 和独立 MANET 两种类型。全球连接 MANET 通过一个或多个网关与外部网络如 Internet 相连接, 独立 MANET 则不与任何外部网络相连接<sup>[1-4]</sup>。IP 地址是 MANET 重要的网

络参数, 地址自动配置作为 MANET 的重要问题受到广泛关注<sup>[5-7]</sup>, IETF 已成立专门的自动配置工作组 (AUTOCONFIG WG)。

在全球连接 MANET 场景下, 地址自动配置机制为 MANET 节点分配本地 IP 地址和全球唯一 IP 地址, 分别用以进行 MANET 内部通信和 MANET 节点与 Internet 主机之间通信。地址自动配置机制需要通过重复地址检测 (Duplication Address Detection,

\* 收稿日期: 2010 - 05 - 25; 修回日期: 2010 - 11 - 23

DAD)算法保证分配给节点的地址是唯一的,并在网络运行过程中检测和解决重复地址问题。MANET 节点移动性带来网络拓扑结构的动态变化,网络在运行过程中的分裂和融合现象将导致地址的泄漏和重复性问题,均为地址自动配置机制带来挑战。

本文在全球连接的 MANET 场景下,分析地址自动配置面临的主要问题,并设计一种简洁的解决方案。所提出的算法具有通信开销小、简单快速、扩展性强的特点,支持频繁的网络融合和分裂,可适用于大型 MANET 网络地址分配的需要。

## 2 问题分析

考虑 MANET 作为边沿网络由一个或多个网关连接到 Internet 的场景。MANET 节点通过网关访问 Internet 服务或与外部主机进行通信。网关具有与 MANET 节点相同的无线接口,并连接到基于 IP 的有线网络,为 MANET 节点和 Internet 主机提供双向连接,如图 1 所示。MANET 与 Internet 之间的连接并非总是可用,如汽车或地铁在停泊或进站后与 Internet 连接,在离开停车场或地铁站时与 Internet 断开。

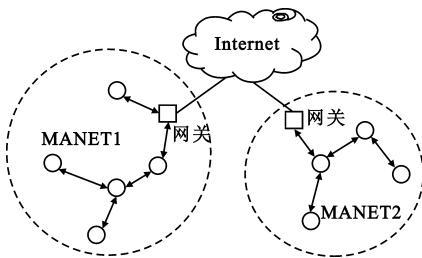


图 1 全球连接 Ad hoc 网络示意图  
Fig.1 Scenario of MANET with global connectivity

对全球连接 MANET,节点需要配置本地地址和全球唯一地址两类地址。本地地址用于在 MANET 内部通信,全球唯一地址用于访问 Internet 外部服务。MANET 中没有永久节点充当 DHCP 服务器,要求地址自动配置算法能够保证所分配地址的唯一性,检测并解决地址冲突问题。

MANET 的网络融合和分裂是地址自动配置算法需要考虑的重要问题<sup>[8]</sup>。由于移动性或电池失效等因素,一个或多个 MANET 节点离开其它节点的通信范围时,即发生网络分裂;分裂后的多个网络随后又可能融合成一个网络,如图 2 所示。地址自动配置算法需要能够避免网络分裂后部分地址的不可用,即地址泄露,也要解决网络融合导致的地址冲突问题。

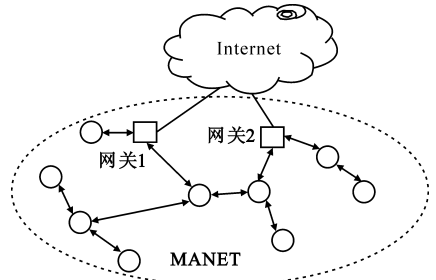


图 2 网络融合  
Fig.2 Scenario of network merger

MANET 可能存在与 Internet 连接的多个网关,要求自动地址配置算法能够感知节点的可用网关,并选择一个作为默认出口点。默认网关为节点分配全球唯一 IP 地址,并将 MANET 与 Internet 主机之间的数据包正确路由到目的节点。当节点与默认网关的连接失败时,要求自动配置算法能够重新选择默认网关,并建立节点与新默认网关之间的绑定关系。

## 3 IP 地址自动配置算法

考虑 IPv6 地址,将单播地址分成临时 MANET 本地地址、永久 MANET 本地地址和全球地址三类。在节点配置永久 MANET 本地地址之前,使用临时 MANET 本地地址进行地址配置控制消息或其它控制消息的单播传输,其前缀为“fec0:0:0:ffff::/96”,用常量 MANET\_INIT\_PREFIX 表示,地址中最低的 32 位为伪随机数;具有前缀为“fec0:0:0:ffff::/64”(表示为常量 MANET\_PREFIX),且不与 MANET\_INIT\_PREFIX 重叠的地址,作为永久 MANET 本地地址<sup>[7]</sup>,如图 3 所示。具有全球地址前缀的地址为全球 IP 地址。

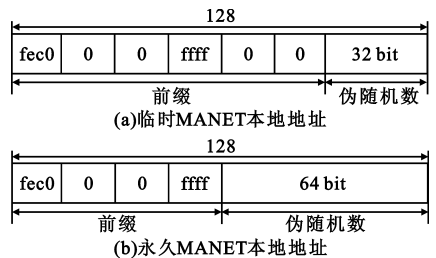


图 3 MANET 本地地址结构  
Fig.3 Local IP address of MANET

### 3.1 MANET 本地地址分配

本地地址分配主要包括自主分配和代理分配两种方式。自主分配方式即由节点自己随机选择主机

地址与前缀 MANET-PREFIX 合并得到试探性永久地址,经 DAD 算法验证唯一性后作为正式永久地址分配给端口<sup>[8]</sup>;代理分配方式即节点选择一个邻居作为代理节点(Initiator)负责地址分配,地址代理产生候选地址后,收到全网成员确认候选地址唯一性的应答消息后将该地址分配给节点<sup>[9]</sup>。

自主分配方式可能存在频繁的地址分配失败,特别是可用地址空间较小或网络规模较大,节点试探性地址选择到已使用地址的概率较大,使得节点地址分配频繁失败而带来时延的增加。特别是同时有多个节点入网时,该方式的效率非常低。代理分配方式的主要问题是在进行地址唯一性检验时,要求全网所有节点返回应答信息,将浪费过多的网络带宽,等待应答所带来的时延将非常长。

为解决以上问题,采用自主分配和代理分配相结合的方式。节点入网时,首先搜索当前网络成员,以确定地址代理。节点随机产生临时地址作为永久地址分配前控制消息的源地址,广播入网请求消息(JOINT\_REQ),启动入网应答定时器,并侦听 MANET 成员的广告消息(ADV\_MESSAGE)。已入网的成员节点周期发送 ADV\_MESSAGE 消息,若收到 JOINT\_REQ 消息,表示有新节点入网,则事件触发 ADV\_MESSAGE 消息的传输。

入网节点根据不同情况进行如下处理:

(1)若入网应答定时器超时,节点未收到 ADV\_MESSAGE 消息,重复该过程直到达到一定尝试次数门限,则节点自己作为代理节点,在预置可用地址范围内随机产生试探性永久地址;

(2)若节点收到 ADV\_MESSAGE 消息,则选择最先收到消息的源节点作为代理节点,发送地址分配请求消息(ADD\_REQ)。代理节点收到 ADD-REQ 消息,发送地址分配应答消息(ADD\_REP),并本地保存网络已分配地址信息(如来自主动路由的全网拓扑表或被动路由获取的消息源地址记录),在未分配地址集合中选择试探性永久地址。

地址代理节点为检验试探性永久地址的唯一性,执行重复地址检测(DAD)算法如下:

首先,以全节点组播地址作为 IP 包头部目的地址,发送 AREQ 消息,并等待应答消息。AREQ 消息的跳数设置为默认网络半径(或采用扩展环搜索算法<sup>[13]</sup>设置跳数)。如果尝试性永久地址已被 MANET 的其它节点占用,则使用该地址的节点收到 AREQ 消息发现地址冲突,立即产生一个 AREP 消

息,沿着 AREQ 传输所建立的路径单播发送给地址代理;

其次,如果地址代理在一定时间内未收到任何 AREP 消息,则认为该尝试性永久地址未在网络中使用,将作为永久 IP 地址进行分配。分配 IP 地址时,若节点自己即为地址代理,直接配置给端口;否则,地址代理发送地址分配消息(ADD\_ALLOC)给地址请求节点;

否则,如果地址代理接收到一个 AREP 消息,表示尝试性永久地址已被使用,地址代理另选一个尝试性永久地址,并重复以上过程,直到成功获得唯一地址或尝试的次数超过一定预先设定的值而放弃地址配置。

需要注意的是,可能多个节点同时加入网络,从而选择到相同的地址,使地址分配失败而重复该过程。为了减小尝试地址冲突概率,在发送 AREQ 消息时需在发送时间上引入一个随机增量,以避免多个节点同时发送 AREQ 消息。

### 3.2 维护地址唯一性

在 MANET 运行过程中,多种原因可能导致地址冲突。比如,分配地址时,执行 DAD 过程中未收到某节点发出的 AREP 消息,或两个 MANET 融合成一个网络时有两个节点同时使用了相同的地址,都会产生地址冲突。因此,要求自动地址配置协议能够在网络生命周期内检测和解决地址冲突问题。

由于节点移动性带来 MANET 拓扑频繁变化,仅仅依靠数据包的路径信息无法分辨相同源地址的消息是否来自同一个节点。为了维护地址唯一性,采用虚拟地址概念<sup>[10-11]</sup>。每个节点选择一个 128 位的伪随机键值,与本地 IP 地址构成的二元组(键值,IP 地址)称为虚拟地址。在路由协议的所有控制消息头部增加一个键值域,每次发送路由控制消息时,将节点键值填入到控制消息中。为保证网络中所有节点键值的唯一性,构造函数  $f(s)$  以生成不重复的 128 位值:

$$f(s) = \text{Random}(s) \mid \text{Time}() \quad (1)$$

式中,  $\text{Random}(s)$  为种子为  $s$  的随机函数,生成一个 96 位随机值;  $\text{Time}()$  函数产生 32 位的当前时间;符号“ $\mid$ ”表示位串的并运算。

网络中每个节点维护所有收到的路由控制消息、源节点的虚拟地址信息。当收到路由控制消息时,比较消息中的虚拟地址和本地缓存的虚拟地址。如果消息的源地址在本地缓存的虚拟地址表中,而

对应的键值不同,则推断发生了地址冲突。节点按照路由表广播 AERR 消息给两个具有相同 IP 地址的节点中键值较小的那个节点。

任何收到 AERR 消息的节点比较源地址与自己 IP 地址,如果两个地址相同,则知道发生地址冲突。节点释放自己的 IP 地址,并按照上节描述的地址分配过程重新分配地址;若 AERR 消息源地址与自己 IP 地址不同,转发 AERR 消息,并在路由表中标记该冲突地址的路由为不可用,停止转发此后所有到该地址消息。

### 3.3 全球地址分配

当 MANET 有一个或多个网关时,节点才能与 Internet 主机进行通信。本方案使用网关为 MANET 节点分配全球唯一地址。全球地址分配包括网关发现、网关选择和地址分配 3 个阶段。

#### 3.3.1 网关发现和选择

当 MANET 节点需要访问外部网络服务时,首先搜索可用网关,以获取全球唯一 IP 地址和接入 Internet。采用主动式和被动式相结合的方式进行网关发现。

所有网关周期广播通告消息(GW\_ADV),并在收到网关请求消息(GW\_SOL)时触发 SOL\_GW\_ADV 消息的传输。当 MANET 节点需要访问 Internet 且没有网关可用时,发起网关搜索过程,即节点发送 GW\_SOL 消息并等待 SOL\_GW\_ADV 应答消息。在一定时间内,如果节点没有收到应答消息,则重新传输 GW\_SOL 消息直到收到 SOL\_GW\_ADV 消息或重传次数达到一定门限值而放弃网关发现过程。网关应答消息 SOL\_GW\_ADV 将沿着路由表记录或请求消息 GW\_SOL 所建立的路径传回到网关请求节点。

MANET 节点可能收到多个网关返回的应答。节点根据 SOL\_GW\_ADV 消息中的跳数信息或按照收到的 GW\_ADV 的先后顺序,选择最近的网关作为默认网关,并在路由表中设置默认网关作为网络出口项。

网络中可能存在多个网关,由于节点移动性,网关与节点间的距离不断变化,原来较远的网关可能变得离节点最近。如果不断按照距离最短原则进行默认网关的调整,则会产生大量的网络开销,并带来时延抖动。为了保持默认网关的稳定性,每个节点仅当与默认网关的距离大于与当前所有可用网关距离最小值一定门限后,才选择新的默认网关。

#### 3.3.2 地址分配

MANET 节点发现和选定默认出口网关的过程中,通过网关发送的通告消息或请求应答消息获取网关的地址前缀或网关为本 MANET 服务的地址前缀。节点以所选网关的前缀和本地地址的主机地址部分一起产生全球唯一 IP 地址。由于在本地地址分配阶段已确认本地地址的唯一性,则所获得全球地址在 MANET 内是唯一的。

为了使网关能够将来自 Internet 的包正确转发到 MANET 节点,已配置的全局地址必须注册到网关。节点发送注册请求消息(REG\_REQ)给默认网关。在消息中包含地址生命周期(ADD\_Lifetime)域表示地址有效时间,网关在时间到期后停止转发所有发往该地址的数据包。默认网关收到 REG\_REQ 消息,确认该地址未被其它节点使用,则发送注册应答消息(REG\_REP)给请求节点,并在全球地址表中记录该全球地址。如果注册请求节点未收到 REG\_REP 消息,则该次注册失败;当达到一定预置数量的失败次数则节点删除网关表中该默认网关的记录,并按照网关发现过程确定新的默认网关。

## 4 性能分析

根据文献[12]提出的评估准则分析算法性能。

所设计的地址自动配置算法针对全球连接的 MANET,其实现不依赖于任何固定的中心服务器。算法结合多种手段实现地址唯一性检测和维护,在节点加入网络时,执行重复地址检测(DAD)保证地址唯一性;在网络操作过程中,使用虚拟地址检测和解决地址冲突问题;在全球地址分配时,由包含 MANET 已分配的全球地址表的网关保证地址的唯一性。所采用的方法简单、快捷,有效降低分配时延和开销。

算法支持网络的频繁融合和分裂,借助虚拟地址机制可有效解决网络融合引起的地址重复问题,当发生网络分裂时,节点将删除在路由计算过程中所发现的不可达地址,以使这些地址可以分配给新入网节点。

从网络开销上看,算法尽量少地使用洪泛机制,可有效降低控制开销。仅 ADV-MESSAGE 和 GW-ADV 消息需要周期性广播。其中,ADV-MESSAGE 消息可直接使用路由协议的 Hello 消息来代替,以避免增加额外的开销。由于网络中网关数量通常较

少,由 GW-ADV 消息洪泛引起的开销非常小。因此,总体而言本协议产生的开销非常小,适合大规模 MANET 使用。

## 5 总结

本文设计了一种适用于全球连接 MANET 的地址自动配置算法,用于本地 IP 地址和全球 IP 地址的分配。所建议的算法具有通信开销小、简单快速、扩展性强的特点,支持频繁的网络融合和分裂,可适用于大型 MANET 网络地址分配的需要。下一步将研究协议的安全性,并对协议进行仿真分析。

### 参考文献:

- [1] Perkins C. IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks [EB/OL]. (2001 - 12 - 14) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-perkins-manet-autoconf-01.txt>.
- [2] Jelger C. Gateway and address autoconfiguration for IPv6 ad-hoc networks [EB/OL]. (2004 - 10 - 22) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-jelger-manet-gateway-autoconf-v6-02.txt>.
- [3] Cha H, Park J, Kim H. Extended Support for Global Connectivity for IPv6 Mobile Ad Hoc Networks [EB/OL]. (2003 - 10 - 02) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-cha-manet-extended-support-globalv6-00.txt>.
- [4] Wakikawa R, Malinen J, Perkins C, et al. Global connectivity for IPv6 mobile ad hoc networks [EB/OL]. (2006 - 03 - 07) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-wakikawa-manet-globalv6-05.txt>.
- [5] Narten T, Nordmark E, Simpson W. Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6) [EB/OL]. (1998 - 12 - 16) [2010 - 05 - 20]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2461.txt>.
- [6] Thomson S, Narten T. IPv6 Stateless Address Autoconfiguration [EB/OL]. (1998 - 12 - 16) [2010 - 05 - 20]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2462.txt>.
- [7] Perkins C, Malinen J, Wakikawa R, et al. IP address auto-configuration for ad hoc networks [EB/OL]. (2001 - 12 - 14) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-perkins-manet-autoconf-01.txt>.
- [8] Baccelli E, Mase K, Ruffino S, et al. Address Autoconfiguration for MANET: Terminology and Problem Statement [EB/OL]. (2008 - 08 - 28) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-ietf-autoconf-statement-04.txt>.
- [9] Jeong J. Ad Hoc IP Address Autoconfiguration for AODV [EB/OL]. (2004 - 06 - 19) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-jeong-manet-aodv-addr-autoconf-01.txt>.
- [10] Hofmann P. Multihop Radio Access Network (MRAN) Protocol Specification [EB/OL]. (2006 - 03 - 01) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-hofmann-autoconf-mran-00.txt>.
- [11] Moustafa H, Bernardos C, Calderon M. Evaluation Considerations for IP Autoconfiguration Mechanisms in MANETs [EB/OL]. (2008 - 12 - 02) [2010 - 05 - 20]. <http://tools.ietf.org/id/draft-bernardos-autoconf-evaluation-considerations-03.txt>.
- [12] Perkins C, Belding - Royer E, Das S. Ad hoc On - Demand Distance Vector (AODV) Routing [EB/OL]. (2003 - 06 - 02) [2010 - 05 - 20]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.

### 作者简介:

卿利(1973 - ),男,四川内江人,2007年于电子科技大学获计算机应用技术专业博士学位,现为工程师,主要研究领域为自组织网络、传感器网络、网络安全等。

QING Li was born in Neijiang, Sichuan Province, in 1973. He received the Ph. D. degree in Computer Application Technology from University of Electronic Science and Technology of China in 2007. He is now an engineer. His research interests include mobile ad hoc networks, wireless sensor networks, and the information security of network.

Email: qingli\_new@163.com