

基于主动路由的无线 mesh 网络区域移动管理方法*

张玉军⁺, 张瀚文, 许智君

(中国科学院 计算技术研究所 网络技术研究中心, 北京 100190)

Active Routing Based Intra-Domain Mobility Management for Wireless Mesh Networks

ZHANG Yu-Jun⁺, ZHANG Han-Wen, XU Zhi-Jun

(Network Research Center, Institute of Computing Technology, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

⁺ Corresponding author: E-mail: zhmj@ict.ac.cn, http://www.ict.ac.cn

Zhang YJ, Zhang HW, Xu ZJ. Active routing based intra-domain mobility management for wireless mesh networks. *Journal of Software*, 2012, 23(7): 1838-1848 (in Chinese). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/4093.htm>

Abstract: This paper proposes an active routing based intra-domain mobility management (ARMM) for wireless mesh networks. ARMM combines the location update procedure of mobile stations with the active routing procedure of mesh routes, which makes the mesh routers perform location management, on behalf of the mobile stations that are attached to them. Thus, the mesh routes can locate the mobile stations attached to them. This paper proposes the two-layer routing model, routing algorithm and location update mechanism. The performance analysis shows that, compared to the existing solution, ARMM has shorter handover delay, and a smaller location update and delivery cost.

Key words: wireless mesh network; mobility management; location update; active routing

摘要: 提出了一种无线 mesh 网络中基于主动路由的区域移动管理(active routing based intra-domain mobility management, 简称 ARMM)方法, 将移动终端(mobile station, 简称 MS)的位置更新和 mesh 路由器(mesh route, 简称 MR)之间的动态路由相结合, 让 MR 代替附着在它上面的 MS 进行位置管理, 从而实现 MR 对 MS 的定位. 给出了 ARMM 方法中的二层路由模型、路由算法及位置更新机制. 性能分析结果表明, 相对于现有的区域移动管理方法, ARMM 方法具有较小的切换延时、位置更新开销和数据传输开销.

关键词: 无线 mesh 网; 移动管理; 位置更新; 主动路由

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

典型的无线 mesh 网络(wireless mesh network, 简称 WMN)具有 3 层结构(如图 1 所示): mesh 路由器(mobile router, 简称 MR), 形成 WMN 的多跳骨干网络; 网关(gateway, 简称 GTW), 连接 WMN 与互联网, GTW 是一种特殊的 MR(若无特别说明, 本文所说的 MR 也包括 GTW); 移动终端(mobile station, 简称 MS), 连接到 MR 上的用户节点^[1]. 本文给出了一种基于主动路由的无线 mesh 网区域移动管理方法.

本文第 1 节分析研究现状. 第 2 节给出本文的解决方案. 第 3 节给出性能评价结果. 第 4 节总结全文.

* 基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973)(2012CB315804); 国家自然科学基金(61100177, 61173133, 61133015, 60803139); 中国科学院重大科研装备研制基金(Z200926); 互联网基础技术开放实验室(DNSLab)开放课题

收稿时间: 2010-05-21; 定稿时间: 2011-06-20

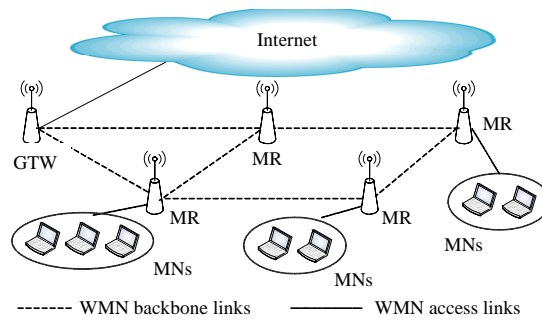


Fig.1 Typical wireless mesh network architecture
图 1 典型的无线 mesh 网络结构图

1 研究现状分析

WMN 中区域移动管理需要解决以下问题:如何标识 MS 的位置信息;如何使 MR 获得 MS 的位置信息;如何在 MS 的新旧 MR 之间建立连接,减少切换过程中的丢包.文献[2]以 mobile IP 协议为例,通过实验证明:在骨干 WMN 中,当 MR 之间的跳数达到 5 跳时,MS 的切换延时将达到 3.5s;在终端 WMN 中,这一数值还要扩大 5~8 倍.因此,现有关于 WMN 移动管理的研究基本都集中于骨干 WMN 方面.当前,针对骨干 WMN 中移动管理问题的解决方案主要分为以下几类:

- 基于位置缓存器的方案^[3,4]:引入位置缓存器,由 MR 负责把 MS 的位置信息在缓存器中进行更新.其中,文献[3]提出的 WMM 方案是一种典型的区域移动管理方案,也是本文性能分析部分的对比方案;
- 基于二层/三层路由结合的方案^[5,6]:在 MR 之间建立基于 MAC 地址的静态路由,MS 通过主动的 ARP 消息将自己的 IP 地址实时映射到所接入 MR 的 MAC 地址上,该方案容易引发 ARP 广播风暴;
- 基于特定主机路由的方案^[7]:当 MS 在 MR 之间移动时,新旧 MR 之间路径上的所有 MR 都要为该 MS 维护一条特定主机路由,该方案同样引入了超级 MR 作为位置缓存器存储 MS 的位置信息;
- 基于重建路由的方案^[8]:MR 代替 MS 参与路由维护,当 MS 发生移动时,通信双方需要通过路由发现过程重建路由,该方案仅适用于 WMN 内部 MS 之间的通信场景;
- 基于 GTW 发现的方案^[9,10]:将每一个 MR 都与一个 GTW 绑定,这类方案以 MR 为单位进行切换处理,无法支持单个 MS 的移动.

现有解决方案有一些共性的假设:地址假设,除文献[4]以外,所有方案都假设 MS 在域内移动时,其 IP 地址保持不变;静态路由假设,文献[4~7]假设在所有 MR 之间存在预先建立的静态路由,不支持 MR 之间的动态路由;树型结构假设,文献[4~6,9]假设 GTW,MR 和 MS 之间是树状层次结构,没有充分考虑到 MR 之间的动态多跳网状结构特征.

2 基于主动路由的区域移动管理方案

本节从路由模型、路由算法及位置更新这 3 个方面给出了一种基于主动路由的区域移动管理方案(active routing based intra-domain mobility management,简称 ARMM),其中,主动路由是指 MS 主动将其位置变化信息通知给 MR,由 MR 代替其进行位置更新,从而实现 MR 对 MS 的实时定位.

2.1 二层路由模型

从 MR 所组成的骨干网络的角度来看,内部所有的 MS 都具有相同的网络前缀(用 P 表示),互联网中的所有节点都具有前缀 \bar{P} .可以根据前缀的不同把所有节点分为内部节点(本文中的 MS)和外部节点(互联网中的节点).如下为每个节点定义其 Serving MR(SMR):对于一个内部节点 MS 来说,其当前所附着的 MR 就是该 MS 的 Serving MR;GTW 是所有外部节点的 Serving MR(如图 2 所示).对于 MR 来讲,每一个节点的 Serving MR 就代

表示了该节点的位置信息.

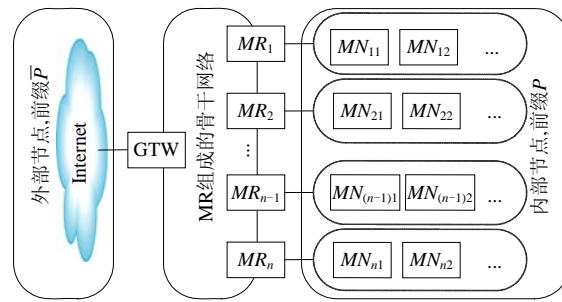


Fig.2 Nodes classification from the view of backbone
图 2 从骨干网络的角度对节点进行划分

所有与 MS 有关的通信数据都要经过骨干网络,而骨干网络中 MR 之间的路由依赖于所采用的动态自组织路由协议.用 sN 表示通信的源节点,用 MR_1 表示其 Serving MR;用 dN 表示通信的目的节点,用 MR_2 表示其 Serving MR,定义如下二层路由模型(如图 3 所示):

- sN 发送的数据包会首先到达其 Serving MR(即 MR_1), MR_1 会查询 dN 的位置信息,获得 dN 的 Serving MR(即 MR_2);
- MR_1 对数据包进行封装,通过骨干网络发送给 MR_2 .骨干网络路由依赖于 MR 之间所采用的动态自组织路由协议,如 AODV,DSR 等;
- 当 MR_2 收到来自 MR_1 的数据包之后,将数据包解封装后转发给目的节点 dN.

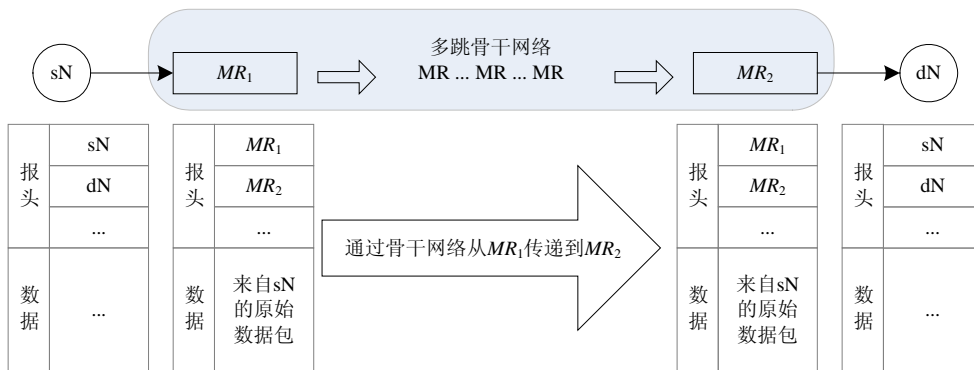


Fig.3 Two-Layer routing model for wireless mesh network
图 3 WMN 中的二层路由模型

2.2 数据结构及算法

为实现二层路由,MR 需要维护两个数据结构:附着 MS 列表(MS attaching list,简称 MSAL)和 MS 位置列表(MS location list,简称 MSLL).其中,MSAL 用于维护附着在该 MR 上面的 MS 的信息,格式为 $\langle MS_IP, MS_MAC, MS_STATUS \rangle$;MSLL 用于维护其他 MS 的位置信息,格式为 $\langle MS_IP, MR_IP, LIFETIME \rangle$;所有 MR 都在其 MSLL 中维护一条默认位置信息: $\langle any\ IP, GTW, 0xff \rangle$.即,如果 MR 不知道目的节点的位置信息,默认把数据包发送给 GTW.在 MSAL 中,MS_STATUS 字段有 3 个状态:

- 0:MS 正附着在当前 MR 上;
- 1:MS 已经离开了当前 MR,当前 MR 需要为 MS 缓存数据;

- 2:MS 已经离开了当前 MR,而且当前 MR 已经获得了 MS 的新的位置信息.

当一个 MS 发送数据时,其 Serving MR 查询 MSLL 获得目的节点的位置信息,并通过骨干网络向目的节点的 Serving MR 发送数据(见表 1).当一个中间 MR(非源节点的 Serving MR)收到来自其他 MR 的数据包时,会将数据包转发给下一个 MR 或者附着在自己上面的 MS(见表 2).

Table 1 Routing algorithm in the source's serving mesh router

表 1 源节点的 Serving MR 中的路由算法

输入	从 MS 或从 Internet 收到的数据包 p
输出	无
(1)	初始化:分别用 $p \rightarrow src$ 和 $p \rightarrow dst$ 表示数据包的源、目的地址;
(2)	if ($p \rightarrow dst$ in MSAL)
(3)	将 p 转发给 $p \rightarrow dst$ 所标识的 MS;
(4)	return;
(5)	if ($p \rightarrow dst$ in MSLL)
(6)	dMR=(根据 $p \rightarrow dst$ 查找 MSLL 所获得的目的节点的 Serving MR);
(7)	else
(8)	dMR=GTW;
(9)	将 p 进行二次封装形成 $pp, pp \rightarrow dst=dMR$;
(10)	查询骨干路由表,将数据包 pp 传递给离 dMR 较近的下一跳 MR;

Table 2 Routing algorithm in the middle mesh router

表 2 中间 MR 中的路由算法

输入	从邻居 MR 收到的二层封装数据包 pp
输出	无
(1)	初始化:分别用 $(pp \rightarrow src, pp \rightarrow dst)$ 和 $(p \rightarrow src, p \rightarrow dst)$ 表示数据包的内层和外层源地址、目的地址;
(2)	if ($pp \rightarrow dst$ 不是指向自身)
(3)	查询骨干路由表,将数据包 pp 传递给离 $pp \rightarrow dst$ 较近的下一跳 MR;
(4)	return;
(5)	if ($p \rightarrow dst$ in MSAL)
(6)	将内层数据包 p 转发给 $p \rightarrow dst$ 所标识的 MS;
(7)	else
(8)	向 $pp \rightarrow src$ 所标识的 MR 发送关于 $p \rightarrow dst$ 的路由差错消息;

2.3 位置更新机制

MS 位置列表 MSLL 用于记录 MS 的位置信息,而 MSLL 的维护依赖于 MR 之间的位置更新机制.MS 能够根据接收到的来自不同 MR 的路由宣告消息检测移动,当一个 MS(MS_0 表示)发生移动时,分别用 pSMR(previous serving MR),nSMR(new serving MR)表示其移动前、移动后的 Serving MR,用 cSMR(correspondent serving MR)表示与 MS_0 通信的另外一个 MS(用 MS_1 表示)的 Serving MR.ARMM 方法中定义了 MR 之间的以下几种位置更新场景:

- 当 MS_0 初次进入一个 WMN 域时,根据收到的路由宣告消息配置 IP 地址并告知 MR,MR 在 GTW 上进行位置更新(如图 4(a)所示);
- 当 MS_0 从 pSMR 移动到 nSMR 时,将自己的 IP 地址及 pSMR 的信息告知 nSMR,nSMR 分别在 GTW 和 pSMR 上更新 MS_0 的位置信息(如图 4(b)所示);
- 如果 GTW 或者 pSMR 收到 MS_1 发送给 MS_0 的数据包,会将数据包转发给 nSMR,并在 cSMR 上更新 MS_0 的位置信息(如图 4(c)所示);
- 从图 4(a)~图 4(c)可以看出,对于 MS_0 的一次移动,MR 之间的位置更新关系为(nSMR→GTW→cSMR)或者(nSMR→pSMR→cSMR)(如图 4(d)所示).

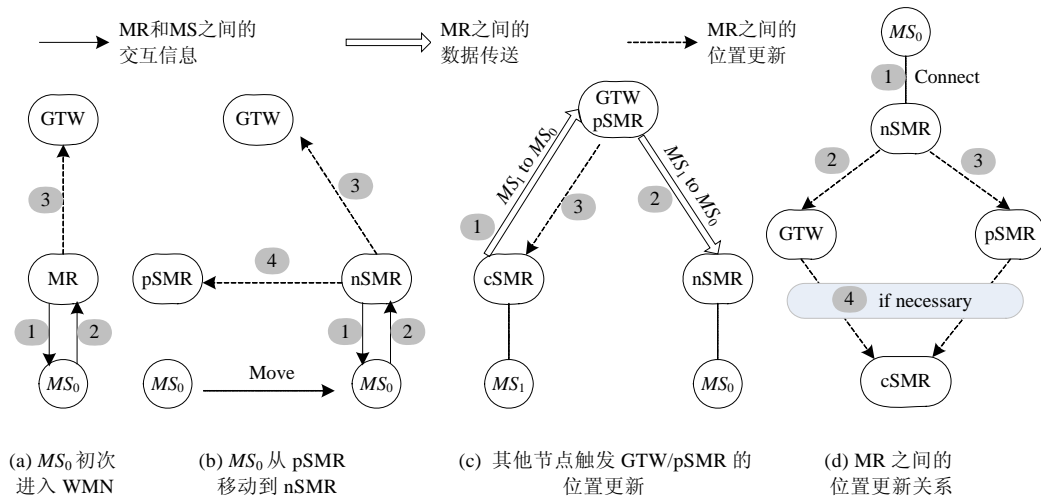


Fig.4 Location update scenarios and relationship among MRs

图 4 MR 之间的位置更新场景及位置更新关系

3 性能分析

3.1 评价模型及参数设置

本节将对分析 ARMM 方案和 WMM 方案的移动切换时间及其开销.定义移动切换场景如下:以 MS_0 从 pSMR 向 nSMR 的移动为例,假设 MS_0 发起的向外网节点的通信率符合参数 λ 的泊松分布,域内任意一个 MS(以 MS_k 表示)发起的向 MS_0 的内网通信率符合参数为 η 的泊松分布,则 MS_0 发起的外网通信间隔和 MS_k 发起的向 MS_0 的内网通信间隔符合负指数分布.表 3 给出了性能分析的参数设置.

Table 3 Parameters for performance analysis

表 3 性能分析的参数设置

λ	MS_0 发起的外网通信率的参数
γ	域内每个 MS 向 MS_0 发起内网通信的概率
η	域内 MS 发起的向 MS_0 的内网通信率的参数
N	除 MS_0 外,域内的 MS 个数
n	组成骨干网络的 MR 的个数
\bar{R}	骨干网络中两个 MR 之间的平均跳数,可用 $(\sqrt{n}-1)/2$ 表示
T_t	两个无线节点之间的传输时间
T_p	节点进行位置管理操作的处理时间

图 5 给出了 ARMM 方案和 WMM 方案的移动切换过程,其移动切换时间都由 3 部分组成:

- (1) 位置更新的触发等待延时,即 θ ;
- (2) 位置更新的时间;
- (3) 信息交换时间(如图 5(a)所示)或者注册时间(如图 5(b)所示).

上述第 2 部分和第 3 部分可以统一起来,用传输和处理延时来表示.即用无线传输的跳数以及位置管理操作的执行次数来进行量化评价.针对位置更新的触发等待延时,ARMM 只有一种触发条件:即 MS_0 收到来自 nSMR 的路由宣告消息;WMM 有两种触发条件:一种是 MS_0 发起向外部节点的通信(称为外网通信触发);另一种是内部其他 MS 发起向 MS_0 的内网通信(称为内网通信触发).

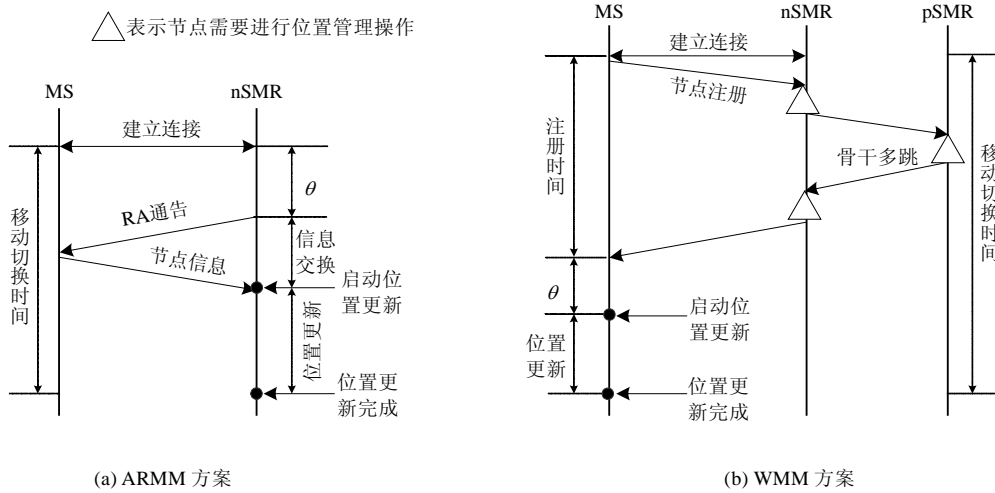


图 5 Mobility handover procedure of ARMM and WMM

图 5 ARMM 方案和 WMM 方案的移动切换过程

3.2 传输和处理延时

ARMM 方案采取与路由协议相结合的方式,由 nSMR 将 MS_0 的位置信息发送给 GTW,仅有 nSMR 和 GTW 进行位置管理操作,中间 MR 仅进行数据转发,其传输和处理延时为

$$t = 2T_p + (\bar{R} + 2) \cdot T_i \tag{1}$$

WMM 方案是由 MS 向 GTW 发送数据消息,MS 及中间路径上的所有节点都需要进行位置管理操作.在内网及外网通信触发时,WMM 方案的传输和处理延时分别为:

- 内网触发

$$t = 4T_i + 3T_p + (\bar{R} + 1) \cdot T_i + (\bar{R} + 2) \cdot T_p = (\bar{R} + 5) \cdot T_i + (\bar{R} + 5) \cdot T_p \tag{2}$$

- 外网触发

$$t = 4T_i + 3T_p + 3\bar{R} \cdot T_i + T_i + 3(\bar{R} + 1)T_p + T_p = (3\bar{R} + 5) \cdot T_i + (3\bar{R} + 7) \cdot T_p \tag{3}$$

图 6 给出了当 MR 个数为 64(即 $n=64$)时,3 种场景(ARMM 方案、WMM 中外网通信触发方案和 WMN 中内网通信触发方案)的传输和处理延时.

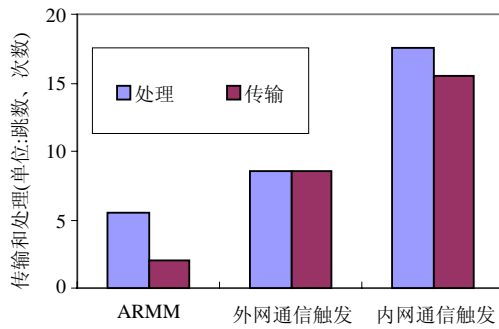


Fig.6 Transmission time and process time in three scenarios

图 6 3 种场景下的传输和处理延时

根据文献[3]中的分析,在无线 mesh 网络中,内网通信率应远小于外网通信率(即 $\eta \ll \lambda$),而且给出了 WMM 方案中内网通信触发位置更新(洪泛)的概率为

$$P = 1 - \lambda \sum_{j=0}^N \frac{1}{j\eta + \lambda} \binom{N}{j} \gamma^j (1 - \gamma)^{N-j} \tag{4}$$

基于公式(1)~公式(4),图 7 给出了两种方案的传输和处理延时.可以看出,ARMM 方案具有稳定的传输和处理延时,而 WMM 方案的传输和处理延时随着内网通信概率 λ 和内网通信率 η 的增加而增加.这是因为随着 λ, η 的增加,内网通信触发位置更新的概率增大,而内网通信触发的位置更新需要引发洪泛查询过程或者多跳转发,导致总体传输和处理延时增大.

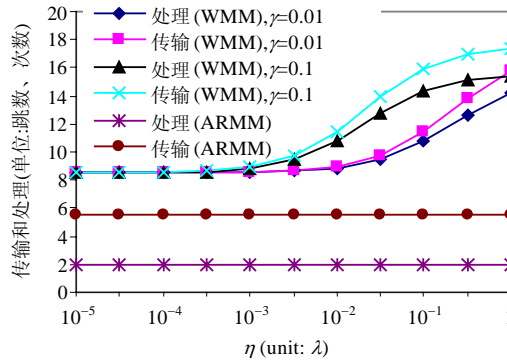


Fig.7 Transmission time and process time of the two schemes
图 7 两种方案的传输和处理延时

3.3 ARMM方案的触发等待延时

在 ARMM 方案中,MS 基于所收到的路由器宣告消息检测自己是否发生了移动.nSMR 从开机开始,其每一个路由宣告间隔应该是一个随机值.如果把每个间隔看作一个随机变量,这些间隔之间应该相互独立.让 α_n 表示 nSMR 的第 n 次宣告间隔,并且让 α_n 独立同分布于随机变量 α ,可以得到随机序列 $\{\alpha_n\}$.

记 $S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i, M_t = \sup\{n: S_n \leq t\}$,因此, $\{M_t, t \geq 0\}$ 成为一个更新过程.

用 $f_\alpha(t), F_\alpha(t), E(\alpha)$ 分别表示 α 的概率密度函数、分布函数和均值,假设在 t 时刻, MS_0 移动到 nSMR 的覆盖范围并且与 nSMR 建立连接,用 $\theta(t)$ 表示从这一时刻到 nSMR 最近一次发送路由宣告的时间间隔,则 $\theta(t) = S_{M_t+1} - t$ (如图 8 所示).根据更新过程理论,有 $\lim_{t \rightarrow \infty} P(\theta(t) < x) = \int_0^x (1 - F_\alpha(s)) ds / E(\alpha)$. 因为 α 是非负随机变量,因此,

$$E(\alpha) = \int_0^\infty (1 - F_\alpha(s)) ds.$$

于是有 $\lim_{t \rightarrow \infty} \theta(t) \xrightarrow{d} \theta$, 即 $\theta(t)$ 以分布收敛于 θ , 并且 $P(\theta < x) = \int_0^x (1 - F_\alpha(s)) ds / E(\alpha)$.

用 $D(\alpha)$ 表示 α 的方差,用 $f_\theta(x), E(\theta)$ 分别表示 θ 的概率密度函数和均值,根据更新过程理论可知:

$$f_\theta(x) = \frac{dP(\theta < x)}{dx} = \frac{1 - F_\alpha(x)}{E(\alpha)}, E(\theta) = \frac{E(\alpha^2)}{2E(\alpha)} = \frac{D(\alpha) + [E(\alpha)]^2}{2E(\alpha)} \tag{5}$$

一般而言,为避免多个路由器产生的路由宣告产生冲突,路由宣告间隔应符合固定区间 $[a, b]$ 上的均匀分布,由公式(5)可知:

$$f_\theta(x) = \begin{cases} \frac{2}{a+b}, & 0 \leq x < a \\ \frac{2(b-x)}{b^2-a^2}, & a \leq x \leq b, E(\theta) = \frac{a^2+b^2+ab}{3(a+b)} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

从图 9 可以看出:随着 $a+b$ 的增加,触发延时增加;随着 a, b 之间的差距加大,触发延时增加.因此,为了降低 ARMM 方案的触发等待延时,应该使 a 和 b 之间相互靠近.典型地,当路由宣告间隙符合 $[0.03s, 0.07s]$ 上均匀分布的情况下,ARMM 方案的触发等待延时为 26.3ms.

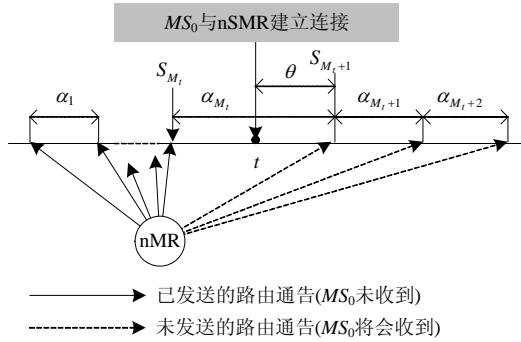


Fig.8 Analysis of trigger delay in ARMM
图 8 对 ARMM 方案触发等待延时的分析

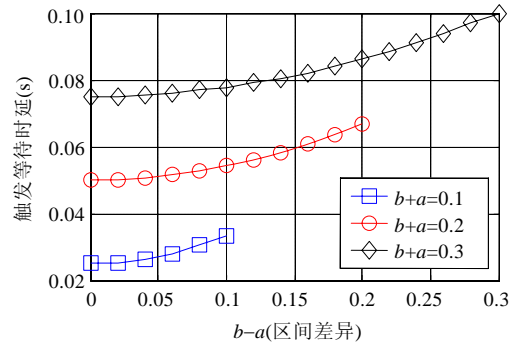


Fig.9 Trigger delay in ARMM
图 9 ARMM 方案的触发等待延时

3.4 WMM方案的触发等待延时

3.4.1 外网通信触发的等待延时

定理. 在外网通信触发位置更新的场景中,触发等待延时只与泊松过程的参数 λ 有关.

证明: MS_0 发起的外网通信率符合参数为 λ 的泊松分布,则 MS_0 发起的外网通信的时间间隔符合负指数分布,

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

假设 MS_0 在第 $k+1$ 个通信间隔中与 nSMR 建立连接,令 t_{out} 为外网通信的触发等待延时(如图 10 所示),由指数函数的无记忆性特征可知:

$$\forall t > 0, P(t_{out} > t) = P(t_{k+1} > \Delta t + t | t_{k+1} > \Delta t) = e^{-\lambda t} \tag{7}$$

由此可得 t_{out} 的分布函数、概率函数以及数学期望:

$$P(t_{out} \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}, f_{out}(t) = \lambda e^{-\lambda t}, E(t_{out}) = \frac{1}{\lambda} \tag{8}$$

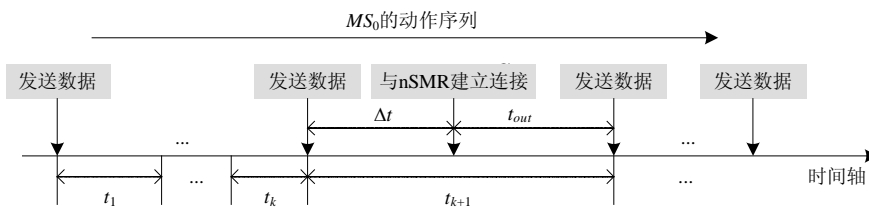


Fig.10 Delay analysis in scenario where outer nodes trigger location update
图 10 外网通信触发位置更新场景的延时分析

3.4.2 内网通信触发的等待延时

当向 MS_0 发起通信的 MS 的个数为 $j(1 \leq j \leq N)$ 时,用 t_j 表示这种场景下的触发等待延时.

不失一般性,假设向 MS_0 发起通信的节点为 MS_1, MS_2, \dots, MS_j .其中, $MS_k(1 \leq k \leq j)$ 首先发起向 MS_0 的内网通信的概率为

$$\begin{aligned}
 \Pr[y_k = \min\{y_i | i \in \{1, 2, 3, \dots, j\}\}] &= \Pr[\forall i \in \{\{1, 2, 3, \dots, j\} - \{k\}\}, y_k \leq y_i] \\
 &= \int_0^\infty \left[\prod_{i \in \{\{1, 2, 3, \dots, j\} - \{k\}\}} \int_{y_i=y_k}^\infty f(y_i) d_{y_i} \right] f(y_k) d_{y_k} \\
 &= \int_0^\infty \eta [1 - F_y(y_k)]^{j-1} e^{-\eta y_k} d_{y_k} \\
 &= \int_0^\infty \eta [1 - (1 - e^{-\eta y_k})]^{j-1} e^{-\eta y_k} d_{y_k} \\
 &= \int_0^\infty \eta e^{-j\eta y_k} d_{y_k} \\
 &= \frac{1}{j}
 \end{aligned} \tag{9}$$

可知,在有 j 个 MS 向 MS_0 发起通信的情况下,每个节点首先发起通信的概率是相同的,因此,

$$E(t_j) = \sum_{k=1}^j \Pr[y_k = \min\{y_i | i \in \{1, 2, 3, \dots, j\}\}] \cdot E(y_k) = \frac{1}{\eta} \tag{10}$$

当 $j=0$ 时,意味着不会有 MS 发起向 MS_0 的内网通信,此时,位置更新需要依赖于公网通信触发,即

$$E(t_0) = \frac{1}{\lambda} \tag{11}$$

由公式(10)、公式(11),内网通信触发位置更新时,等待延时为

$$\begin{aligned}
 E(t_{in}) &= \sum_{i=0}^N \Pr(j=i) \cdot E(t_j) \\
 &= \frac{1}{\eta} \sum_{i=1}^N \binom{N}{i} \gamma^i (1-\gamma)^{N-i} + \frac{1}{\lambda} (1-\gamma)^N \\
 &= \frac{1}{\eta} [1 - (1-\gamma)^N] + \frac{1}{\lambda} (1-\gamma)^N
 \end{aligned} \tag{12}$$

图 11、图 12 给出了内网通信触发延时, $E(t_{in})$ 与内网通信间隔 $1/\eta$ 的关系.可以看出,当节点数为 100 时,随着通信概率 γ 的增大, $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 越接近;当 $\gamma=0.05$ 时, $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 已基本相同.当 $\gamma=0.01$ 时,随着节点个数 N 的增加, $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 越接近;当 $N=1500$ 时, $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 已基本相同.因此能够得出结论:当通信概率 γ 增加、节点个数 N 增加时,可用内网通信间隔近似代替内网通信触发的等待延时.

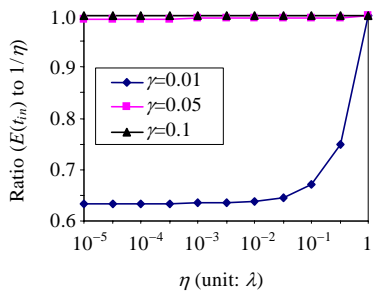


Fig.11 How $1/\eta$ affects $E(t_{in})$ ($N=100$)
图 11 $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 的关系 ($N=100$)

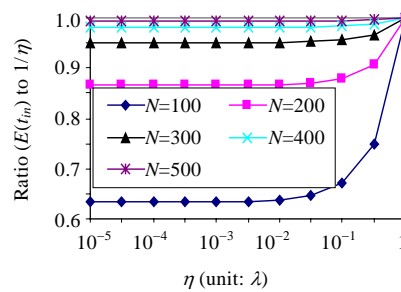


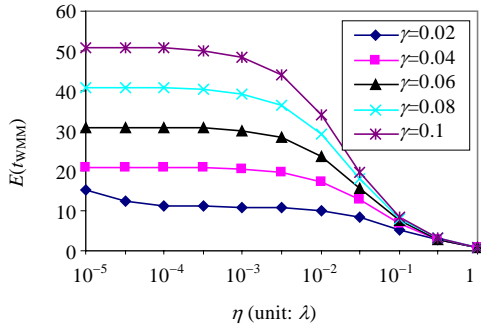
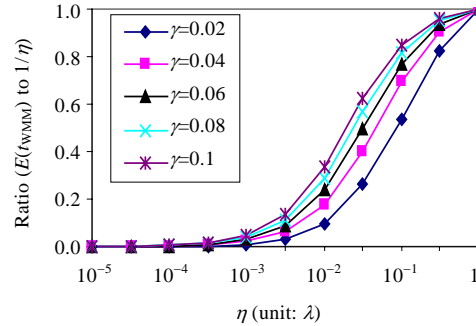
Fig.12 How $1/\eta$ affects $E(t_{in})$ ($\gamma=0.01$)
图 12 $E(t_{in})$ 与 $1/\eta$ 的关系 ($\gamma=0.01$)

3.4.3 WMM 方案的触发等待延时

根据公式(4)、公式(8)、公式(12),WMM 方案的触发等待延时为

$$\begin{aligned}
 E(t_{WMM}) &= (1-P) \cdot E(t_{out}) + P \cdot E(t_{in}) \\
 &= \sum_{j=0}^N \frac{1}{j\eta + \lambda} \binom{N}{j} \gamma^j (1-\gamma)^{N-j} + \left[1 - \lambda \sum_{j=0}^N \frac{1}{j\eta + \lambda} \binom{N}{j} \gamma^j (1-\gamma)^{N-j} \right] \cdot \left[\frac{1}{\eta} [1 - (1-\gamma)^N] + \frac{1}{\lambda} (1-\gamma)^N \right]
 \end{aligned} \tag{13}$$

图 13、图 14 分别给出了 WMM 方案的触发等待延时 t_{WMM} 以及其与内网通信间隔 $1/\eta$ 的关系.可以看出,随着 η 的增大, t_{WMM} 减小,这是因为 MS 能够以较快的速率向 MS_0 发送内网通信数据,尽早触发 GTW 的洪泛查询过程,从而降低总体触发等待延时;随着 γ 的增大, t_{WMM} 增大,这是因为内网通信触发位置更新的概率增大,而且内网通信间隔 $1/\eta$ 大于外网通信间隔 $1/\lambda$;随着 η 和 γ 的增大, t_{WMM} 与 $1/\eta$ 的比值增大,这是因为内网通信比外网通信对 t_{WMM} 的影响更大,导致 t_{WMM} 更加靠近内网通信间隔.

Fig.13 Trigger delay in WMM ($N=500$)图 13 WMM 的触发等待延时($N=500$)Fig.14 How $1/\eta$ affects $E(t_{WMM})$ ($N=500$)图 14 $E(t_{WMM})$ 与 $1/\eta$ 的关系($N=500$)

4 结论

WMM 是一种典型的无线 mesh 网络中的区域移动管理方法,其中的位置更新需要依赖于 MS 发起的外网通信或者内网通信,容易引发位置查询消息在整个 mesh 网络内的洪泛;而且这种方案采用 IP 报头选项携带通信双方的位置信息,所有中间节点都需要进行位置管理操作,进一步降低了数据传输效率.针对现有方案的不足,本文给出了一种基于主动路由的区域移动管理方法(ARMM).该方法从骨干路由的角度将网络划分为外部网络、骨干网络和内部网络,并且定义了各类型节点的位置信息以及 MR 之间的位置更新机制.为提升位置更新效率以及实现对 MS 的透明性,设计了基于现有 MR 之间的路由协议进行位置更新的具体实现方法.分析结果表明,WMM 方案的移动切换时间受 MS 的通信特征(通信率及通信概率)及网络规模(MS 个数)影响,难以控制;ARMM 方案的移动切换时间受 MR 上的路由宣告间隙的配置策略有关,容易配置和实施.而且 ARMM 尽可能地减少了不必要的位置管理操作,具有更小的位置更新开销和数据传输开销.

References:

- [1] Nandiraju N, Nandiraju D, Santhanam L, He B, Wang JF, Agrawal DP. Wireless mesh networks: Current challenges and future directions of Web-in-the-sky. *IEEE Wireless Communications*, 2007,14(4):79–89. [doi: 10.1109/MWC.2007.4300987]
- [2] Xie J, Wang XD. A survey of mobility management in hybrid wireless mesh networks. *IEEE Network*, 2008,22(6):34–40. [doi: 10.1109/MNET.2008.4694172]
- [3] Huang DW, Lin P, Gan CH. Design and performance study for a mobility management mechanism (WMM) using location cache for wireless mesh networks. *IEEE Trans. on Mobile Computing*, 2008,7(5):546–556. [doi: 10.1109/TMC.2007.70745]
- [4] Hung TC, Phuc L, Duy NN, Quynh DNT, Cuong LQ, Jung BK, Kang Y. The proposed improvement 3-layer mobility management scheme for wireless mesh networks using IP prefix mechanism. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Advanced Communication Technology (ICACT)*. 2009. 953–958. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1701845>
- [5] Zhang ZX, Boukerche A. A novel mobility management scheme for IEEE 802.11-based wireless mesh networks. In: *Proc. of the Int'l Conf. on Parallel Processing (ICPP)*. 2008. 73–78. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4626783&tag=1 [doi: 10.1109/ICPP-W.2008.22]
- [6] Boukerche A, Zhang ZX, Samarah S. A wifi-based wireless mesh network with inter-domain mobility management. In: *Proc. of the IEEE Symp. on Computers and Communications (ISCC)*. 2009. 857–862. [doi: 10.1109/ISCC.2009.5202374]

- [7] Huang RS, Zhang C, Fang YG. A mobility management scheme for wireless mesh networks. In: Proc. of the IEEE Global Communications Conf. (GlobeCom). 2007. 5902–5906. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4411875 [doi: 10.1109/GLOCOM.2007.965]
- [8] Ren MS, Liu C, Zhao HZ, Zhao T, Yan W. MEMO: An applied wireless mesh network with client support and mobility management. In: Proc. of the IEEE Global Communications Conf. (GlobeCom). 2007. 5075–5079. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4411872 [doi: 10.1109/GLOCOM.2007.962]
- [9] Xie B, Yu YB, Kumar A, Agrawal DP. Load-Balancing and inter-domain mobility for wireless mesh networks. In: Proc. of the IEEE Global Communications Conf. (GlobeCom). 2006. 1–6. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4151571 [doi: 10.1109/GLOCOM.2006.941]
- [10] Baumann R, Bondareva O, Heimlicher S, May M. A protocol for macro mobility and multihoming notification in wireless mesh networks. In: Proc. of the Int'l Conf. on Advanced Information Networking and Applications Workshops. 2007. 34–37. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4224079 [doi: 10.1109/AINAW.2007.44]



张玉军(1976—),男,河北衡水人,博士,副研究员,博士生导师,CCF 高级会员,主要研究领域为未来互联网.



许智君(1974—),男,博士生,主要研究领域为下一代互联网技术.



张瀚文(1981—),女,博士,助理研究员,CCF 会员,主要研究领域为移动管理技术.