

# 一种分层多跳无线网中的移动性管理策略<sup>1</sup>

田永春 郭伟

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室 成都 610054)

**摘要:** 该文介绍一种分层多跳无线网与其他骨干网络互连情况下的网络层移动性管理方案, 它使用了包含逻辑家乡代理的宏移动性管理和将位置管理与路由和寻呼机制结合起来的微移动性管理的思想, 以提高网络在战场等特殊情况下使用的可靠性和抗毁性, 减小位置管理的开销, 节省无线信道的带宽。

**关键词:** 移动性管理, 分层多跳无线网, 宏移动性管理, 微移动性管理

**中图分类号:** TN919.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2004)10-1521-06

## A Mobility Management Solution for Hierarchical Multi-hop Mobile Wireless Networks

Tian Yong-chun Guo Wei

(National Key Laboratory of Communication, UEST of China, Chengdu 610054, China)

**Abstract** This paper focuses on the mobility management in hierarchical multi-hop mobile wireless networks. A mobility management solution is proposed which combines macro mobility management using Logical Home Agent (LHA) and micro mobility management integrating location management with routing and paging. The main advantage of this scheme is that it considerably reduces the location update overhead and especially cares for reliability and survivability.

**Key words** Mobility management, Hierarchical multi-hop mobile wireless networks, Macro-mobility management, Micro-mobility management

### 1 引言

分层多跳无线网主要使用在固定基础设施不可用、不可信或不可靠的紧急场合和军事战场。该网络中具有两种节点, 用户 (也叫移动主机) 和移动交换机 (也叫基站), 用户发起和接受通信, 移动交换机负责寻路和转发。为了简化用户信道接入方式, 用户只能和交换机通信, 功能也比较单一; 交换机负责管理本地用户的通信过程和交换机之间的通信以及进行资源的协调划分。这样仅用较少的比较复杂而功能强大的移动交换机就可以支持大量的移动用户, 兼有蜂窝通信和 Ad hoc 网的优点, 而且当网络规模很大用户很多时, 移动交换机还可以进行分层, 扩展性好。这种节点在物理结构和功能上的差异使其自然地具有两层的结构, 也和单层平面式的 Ad hoc 网有较大的差异, 特别是对移动性管理方面。为了区别, 将本文所论述的这种网络结构称它为分层多跳无线网 (HMWN), 有些文献也称为多媒体移动无线网 (MMWN) 或高动态多跳无线网 (HDNet)。

本文主要研究分层多跳无线网和其他骨干网络互连情况下进行互连互通所需要的移动性管理问题。在这种网络结构之下进行移动性管理, 主要存在诸如对分层多跳无线网用户位置的查询和更新、异种网络之间的数据存储和获取以及异种网络之间的路由转发等问题。文献 [1] 提出了一种在平面式多跳无线网中的移动性管理方法, 它使用了一种叫分级状态路由 (HSR) 的协

<sup>1</sup> 2003-06-14 收到, 2003-11-07 改回

国家“863”计划 (2001AA120303) 资助项目

议,采用了物理分群逻辑分区的办法来解决网络内部的移动性管理问题,通过网关和外部网络相连。但它的分群算法复杂,在网络地理位置变化较快时开销很大,而且它的所有网络节点功能一致,因而其移动性管理体系不适合本文所研究的网络。文献[2]介绍多媒体集成网络(Multimedia Integrated network by Radio Access Innovation, MIRAI)体系中移动性管理框架,它使用了专门负责移动性管理的基本接入网络(Basic Access Network, BAN),可以实现多种网络之间的漫游和切换,但是这些网络并未包含多跳无线网,而且网络的体系结构复杂。

为了提高分层多跳无线网的可靠性和抗毁性,考虑到网络在实际使用特别是军事应用上的特殊性,提高网络的适用范围和使用效率,本文将整个集成网络的移动性管理分成两个部分,将一个或一组网关下的同一分层多跳无线网看作一个单一的域,把域间移动性管理称为宏移动性管理,一个域内的移动性管理称为微移动性管理。

本文的安排如下:第2节介绍实现多跳无线网与其它网络互连时的移动性管理问题,即宏移动问题;第3节介绍多跳无线网内部的移动性管理问题,即微移动问题;第4节给出对本文方案的一些仿真结果;最后给出本文的结论。

## 2 宏移动性管理

由于分层多跳无线网主要使用在军事和紧急场合,因而标准的移动IP(MIP)和会话产生协议(Session Initiation Protocol, SIP)对本文的网络结构并不太实用。MIP使用时存在几个限制:Home Agent(HA)的位置必须位于家乡网络内;HA的脆弱性,它不允许在家乡网络之外存在多个地理上分散的HA;三角路由和隧道问题等。其中前两个问题限制了网络的顽存性,特别在军用网中家乡网络一般位于不安全的区域;后两个问题带来性能的降低,并阻止了互操作性,例如资源预留协议(Resource Reservation Protocol, RSVP)需要检查IP头,隧道封装后RSVP就无法进行。SIP适合实时应用但是不适合非实时的应用,而且需要新的传输层协议去适应业务流的改变<sup>[3]</sup>。

在本文的网络结构中,每个子网都有自己的标识,它用来指示该子网的覆盖区域,也被用户用来识别自己所在的位置区域,同时也是用户判别是否发生宏移动的标志。子网内的每个交换机也有自己的标识,它和本子网的标识一起对用户广播,这样用户通过比较这些标识就可以判断自己位置。如果用户发现新收到的子网标识和自己存储的子网标识不一致,则表明发生了宏移动,需要到自己的逻辑家乡移动代理(LHA)重新注册,具体过程如下所述。如果仅仅是交换机的标识不一致,那么说明只是发生了微移动,具体过程见后面第3节所述。

在本文的宏移动性管理协议中,网络中逻辑上存在多个专门为多跳无线网进行移动性管理的数据库。每个数据库作为某一子网内的移动用户的主家乡代理(MHA),同时可作其它用户的从家乡代理(SHA)。MHA根据网络需要(如网络的可靠性和抗毁性)选定不同位置和数量的其它数据库(称为它的SHA)一起构成它的用户的LHA。不同的用户可在不同的LHA中注册。每个MHA下的用户对应同一家乡网络, MHA可以位于家乡网络内,但也可以位于家乡网络之外,但在家乡网络内部的路由器有指向该MHA的指针,同时MHA定期与家乡网络通信以验证彼此的完好性。每个LHA的成员通过骨干网相连,互相传递信息,这样当一个LHA的成员受到破坏时,用户可以在同一LHA中的其它成员处登记或查询,通过合理的安排LHA成员的位置和数量,可以使登记的业务量均衡分布,提高登记速度,从而提高移动性管理的性能。

每个用户在初始入网时将自己的一些基本信息通过家乡网络发送到MHA处注册。该MHA对用户进行验证、激活和位置更新,然后将用户的信息和当前位置传递到同一LHA的其它SHA中。MHA将LHA信息一起返回给用户,这样用户在以后的漫游登记时可就近选择一个HA登记, LHA成员之间的同步在后面讨论。当一个SHA损毁时MHA将增加额外的SHA代替,如果MHA损毁,家乡网络将在该LHA选择一个替代它并修改它的指针。如果家乡网络损毁,经过一段时间后MHA收不到家乡网络的完好性信息,那么它在家乡网络的外围网络重新选择一个作为新的家乡网络并向其它外围网络发布通告,这样所有前往原家乡网络的查询将被拦截



转发。在 LHA 中对应它所管辖的每个用户都有一条对应的条目，该条目包含该用户的标识、状态标志、转交地址 (CoA)、位置更新时标等，其中位置更新时标用来指示该更新的先后次序。用户初始入网后的宏移动过程如下所述。

当用户 u1 进入子网 1 时 (见图 1)，它先在子网 1 确认一个接入交换机，并且将自己的标识、LHA 列表和与它正在通信的对等节点 (CN) 的列表报告给该交换机，同时要求交换机进行远程注册。交换机通过无线路由把该用户信息传递给网关 1，该网关记下该交换机和 u1 的地址绑定，此即为 u1 目前的位置。同时它根据用户的 LHA 表向其中最近的一个更新，例如 SHA1，同时把自己的地址作为 u1 的转交地址一起发送给该 LHA 以及外部 CN，对本子网内的那些 CN 则直接把 u1 当前的位置通知它们。SHA1 检查该用户的更新时标是否较新，如是则更新该条目，否则丢弃该注册信息。SHA1 更新完本地数据库的条目后，立即向本 LHA 的其他成员发送用户位置更新消息，以保证 LHA 用户信息的同步。本 LHA 内的其它成员在收到位置更新消息后，也要检查时标。如果较新就更新信息并返回确认，该确认也用来确定 LHA 成员的完好性；如果较旧则要判断它的来源，如果是非 LHA 则直接丢弃，如果来自其它 LHA 则要反向传送一个更新消息，以指示相应的 LHA 用户信息过时。LHA 也把 u1 的新的转交地址通知给上一个转交地址以便后续分组的转发。每当用户越过子网边界发生宏移动时就进行上述过程，保证用户位置信息的正确。

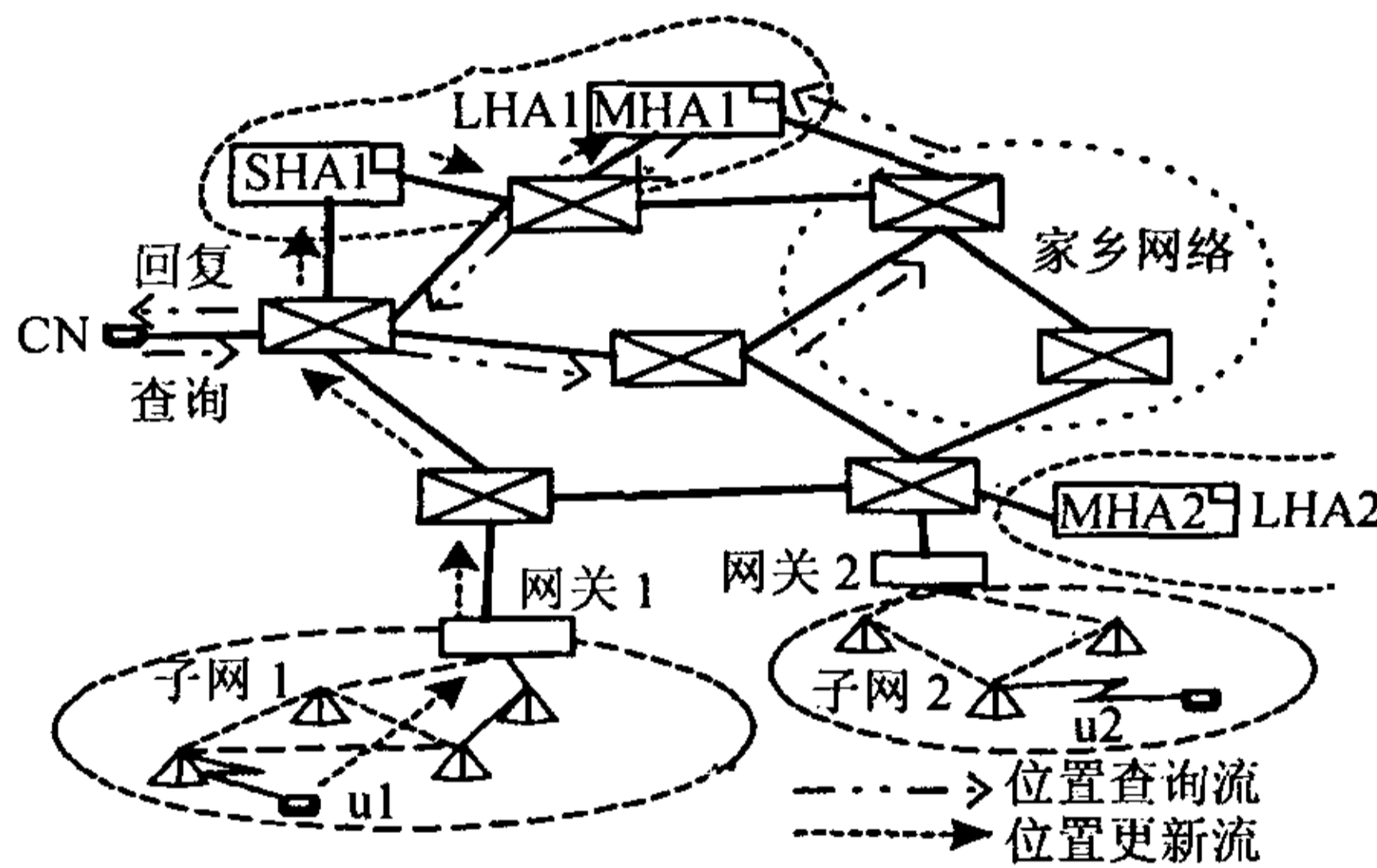


图 1 宏移动性管理结构

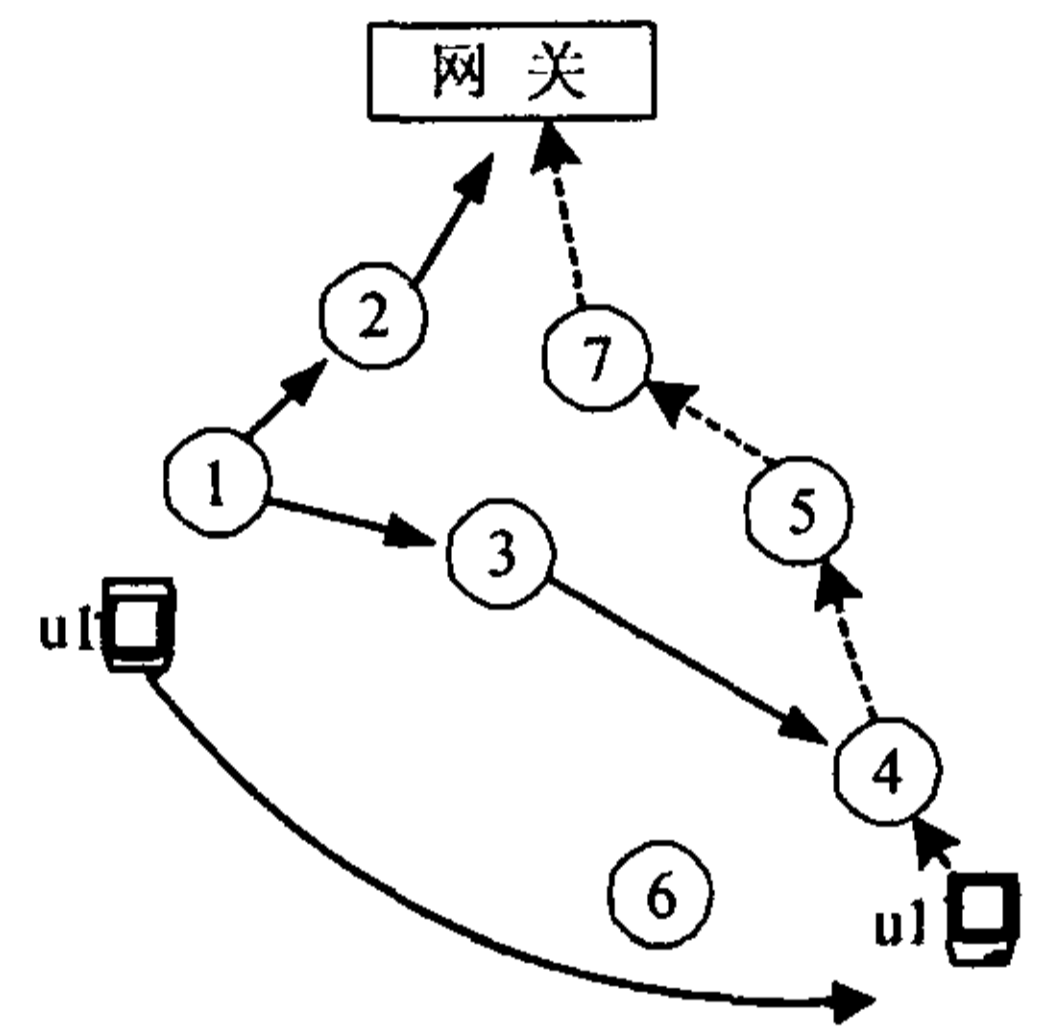


图 2 微移动性管理示意

当某一个用户 (例如 CN) 需要与 u1 通信时，其机制类似于使用路由优化的 MIP，首先它需要查询 u1 当前位置。该查询被转发到 u1 的家乡网络后再被转发到 u1 的 LHA，该 LHA 直接返回 u1 的当前位置信息给 CN，CN 就可以直接与 u1 目前的 CoA 建立连接并最终转发给 u1。如果是多跳无线网的用户 u2 需要与 u1 通信，则子网 2 的网关要先检查 u1 是否在本网内，然后再向 LHA 查询，其过程与上述类似。同样，如果 u1 要与其它用户通信，其过程与 CN 类似，只不过该查询由 u1 当前所在的网关完成。

由于交换机本身并不产生和接受业务，所以当交换机在一个子网内部移动时，可以映射为它下面的用户的移动，由后面的微移动管理协议和路由算法来共同完成管理。

### 3 微移动性管理

目前，微移动性管理的协议很多，但大多集中在固定网、WLAN 以及蜂窝移动通信系统及其集成网络的移动性管理上。主要的方案有 Cellular IP，MIP-RR，HMIPv6，uMIP 和 IDMP 等。多跳无线网中的移动性管理的相关文献较少，一般根据网络的大小和结构而采取相应的策略。文献 [4-6] 提出了一些针对多跳无线网的位置管理策略，但它们的开销较大，而且对本文的具体网络结构和应用环境并不很适合。分层多跳无线网中只有一部分节点具有路由器功能，另外的大部分只具有终端的功能。在一个子网内部的各交换机之间构成一个 Ad hoc 网络，而交换机又自然具有它可通信范围内的用户的群首的功能。由于只有用户才会发起和接受

通信,所以移动性管理的主要目的是有效地寻找到用户,但它又与交换机之间的拓扑结构密切相关,这种特殊性导致上述算法不能适应本文这种网络结构。由于交换机一般个数少,功能强,对交换机这层的移动性管理直接采用路由算法来处理,而把用户的移动性管理和路由算法结合起来考虑,查找用户则采用一种类似寻呼的机制以减少位置更新开销。

对本文的网络结构,一种简单的移动性管理方式是每个交换机存储驻留在该交换机下用户的信息,网关则存储本子网内所有用户的信息。但这种管理方式存在一个缺点,当网络的用户和交换机都在移动,网络拓扑快速动态变化时,位置更新开销很大。根据这种网络的使用情况,总有一些用户与交换机的运动规律是一致的,它们为了同一个目的或任务而进行移动。这样一个用户在进入一个新的子网后,经过很少的几次交换机间的运动最终将驻留在一个相对稳定的交换机下。而且由于网络结构的限制,网内的用户不可能经常通信,因而大量的位置更新信息是不必要的,用户在某一个中间交换机也不一定会发起或接受呼叫。为了改进上述不足,本文做以下改进。

用户在进入一个子网时进行一个注册过程(见前述),在该注册信息向网关转发的过程中,所有的中间交换机都记录下该用户的当前位置以及该信息的时标,这样就形成了一条从网关到目前用户所在的初始交换机的反向路径,如图2所示网关—②—①,同时该用户记录下该交换机的标识。当用户发现当前交换机的信号强度下降到某一个门限时,立即监听邻近交换机的信标,并记录下信号强度,当当前交换机的信号强度下降到切换门限时,用户再监听临近交换机的信号强度,选择一个信号强度不下降且强度最大的交换机切换,在切换之前该用户把它选择的交换机的标识传递给前交换机。这样在那些收到了该用户信息的交换机间形成了一条位置信息路,如图2中的①—③—④,沿着该路就可以搜寻到用户,就像寻呼一样。如果有交换机重复收到该用户的信息,则以时标的先后替换,这样可以避免环路的出现。这样用户就不需要专门的位置更新消息,而且由于前面的分析用户不会无限制的移动,因而信息路也不会很长。

当有该用户的呼叫时,如果主叫在网外,它根据在LHA中获得的该用户的CoA转发到该用户所属的子网网关。网关就发布一条路由发现请求,寻找到该用户初始入网时的交换机(图2中的节点①)的路由,同时指明该路由是为该用户的呼叫服务的。这个请求由该网络所采用的具体的路由协议来处理。在该请求向交换机①转发及其后的搜寻过程中,如果有某个中间交换机有该用户的信息,这意味着这个交换机位于该用户的位置信息路上,那么它将直接沿着该信息路搜寻下去,不必再转发到交换机①去。当交换机①收到该查询后,就向它存储的下游交换机发送查询请求,例如图2中的节点③,以及③的下游节点④。同时所有转发该请求的中间交换机都启动一个定时器,定时器到期后交换机就清除有关该用户的信息。当用户位置最终找到后,该用户所在的交换机就直接与网关建立路由,例如图2中假如用户在节点④下,那么用户就可能通过④—⑤—⑦—网关建立路由,最后网关与交换机⑤,⑦更新对该用户的位置绑定和时标。每次通信结束后又持续上述过程。

如果主叫在同一子网内部,那么该主叫的交换机首先搜寻自己的缓存中是否有被叫用户的信息,然后再向网关转发,如果在该过程中有任何一个交换机有用户的信息,那么就直接与用户联系而不需要经过网关。如果是该用户首先发起主叫,则在呼叫建立期间也传送位置更新绑定,过程比较简单。如果在用户通信过程中用户发生切换,那么直接进行路由延长,如果中间转发交换机发生了移动,则直接在该交换机两侧建立替代路由,通过合适的路由算法来保证用户的正常通信。

这种算法对用户的第一次查询时间较长,开销较大,但它的优势是查询返回时相应的路由也已经建立,节省了路由建立的时间和开销,而且它不需要专门的位置更新操作。

## 4 仿真分析

### 4.1 宏移动性管理协议分析

本文的宏移动性管理协议与MIP等其它宏移动性管理协议相比,其主要的差别在于本文采用了几个HA同时作为用户的家乡代理。相对MIP而言,这些LHA之间需要进行同步处理,会给网络的控制管理带来额外的开销,但是对提高网络的可靠性和抗毁性而言是值得的。分层



多跳无线网及其用户具有相对独立性和随机布置性, 因而在骨干网中必然存在一些管理实体为这些用户服务。这些实体在网络中具有比较特殊的地位, 因而本文把这些管理实体也相应地独立起来与分层多跳无线网一起来加以考虑也有其现实可行性。该方案不足之处是在家乡网络和 MHA 同时被毁时存在查询失败的可能。

#### 4.2 微移动性管理协议分析

本文对微移动性管理协议进行了仿真, 采用 NS2 作为仿真工具, 在仿真中设置有一个网关, 8 个移动交换机, 若干个用户。8 个交换机基本均匀地布置在仿真区域内, 在仿真过程中这些交换机位置会不停地变化, 但基本可以对仿真区域的用户的通信服务, 交换机之间采用 DSDV 路由协议。用户的传输距离约为交换机的  $1/3$ , 随机移动。

仿真中把本算法与一种在 MMWN 中使用的分级移动性管理协议对比。MMWN 的网络结构与本文的结构基本一样<sup>[1]</sup>。为了便于比较, 本文假设 MMWN 是 2 级结构, 即交换机和用户构成第 0 级, 交换机再分群形成第 1 级, 第 1 级的群首和本文的网关功能类似。每个用户的漫游级都是 0 级, 即用户跨交换机移动就要向位置管理器更新位置信息, 该更新消息将被转发至第 1 级群首处以方便对用户的位置查询。它与本文的算法相比较, 主要的差别在于用户位置更新和外部用户查询的开销以及查询的时延, 因而仿真主要对这两个参数在各种速度下进行对比, 得出的数据也是相对值。为了简化数据, 本文还假设, 两种算法位置更新与查询的分组大小是一样的, 用户在通信过程中的位置更新是附加在数据分组中的, 不需要额外的更新分组, 因而开销是与呼叫时间间隔有关的。

图 3 是本文提出的微移动性管理方案 (以 HMWN 表示) 和 MMWN 的微移动性管理协议查询网内用户的平均时延随拓扑变化速度的曲线。由图可看出, 当网络的拓扑变化加快时, 两种方案的平均时延略有增加但差别很小 ( $< 5\%$ )。可见本方案在查询时延上不会显著增大。

图 4, 图 5 分别示出了两种方案在交换机运动速度  $5.0 \text{ m/s}$  用户速度  $1.6 \text{ m/s}$  情况下的开销和连续两次呼叫时间间隔的关系。由图中可以看出, HMWN 在两次呼叫的时间间隔比较小时, 开销较大, 但是随着时间间隔的增大, 它的开销并不会显著的增加, 而是波动的, 显示本方案的位置信息路不会随拓扑的变化而无限制的增加。而对 MMWN 中的位置管理算法而言, 其开销是随着呼叫时间间隔的增大而单调增大的。对比分析表明本方案更适合高速动态变化的网络拓扑, 这是由于网络的拓扑变化较大时, 有可能网关用很少的开销就可以找到用户 (例如用户移动到交换附近), 因而查询开销很小, 导致总开销减少。所以本方案当呼叫到达率较小时的优势比较明显。一般来说, 只要用户的呼叫到达率小于  $1 \text{ 次/min}$ , 本方案就有性能改善。图中的曲线是阶梯形的, 是因为在那段时间内用户未跨交换机移动, 所以无任何开销产生。

图 6 是全部运动时平均开销随移动速度的变化曲线, 平均开销是以呼叫率为  $0.33 \text{ 次/min}$  或者呼叫时间间隔  $180 \text{ s}$  来统计的。由图可见随着运动速度的增加, 开销也是趋于增大的, 但是它也是与整个网络的运动模型有关。由图可看出, 本文的方案在开销上约减少  $30\%$ 。总体来看, 本文的方案具有较好的拓扑适应性, 开销不会随着时间的增长而增大, 适合于网络拓扑快速变化的场合。

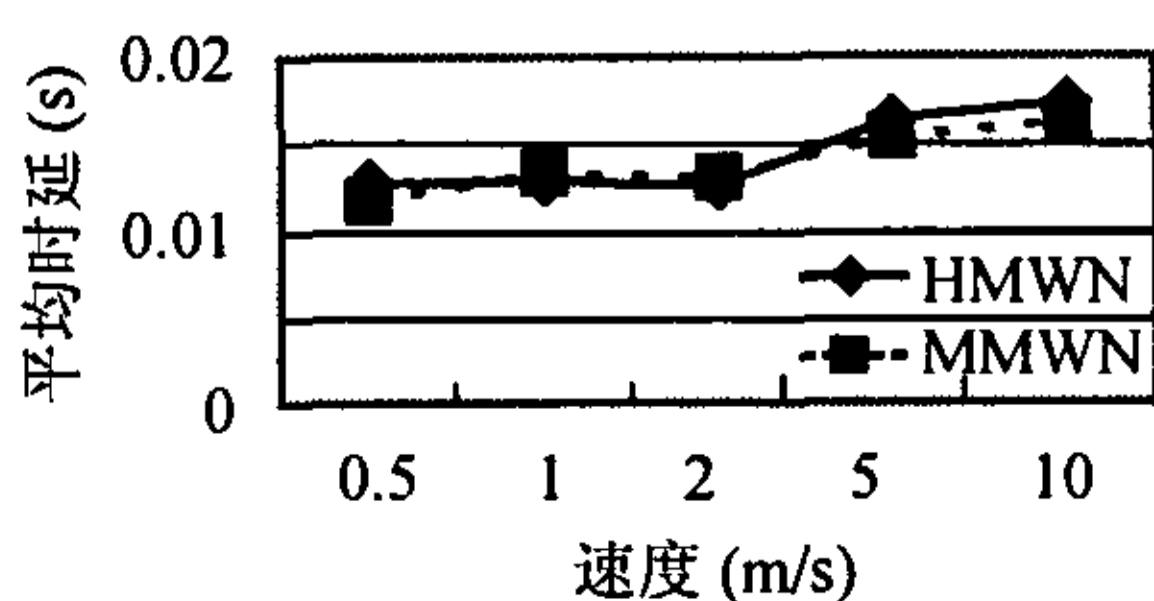


图 3 平均时延随网络变化速度的影响

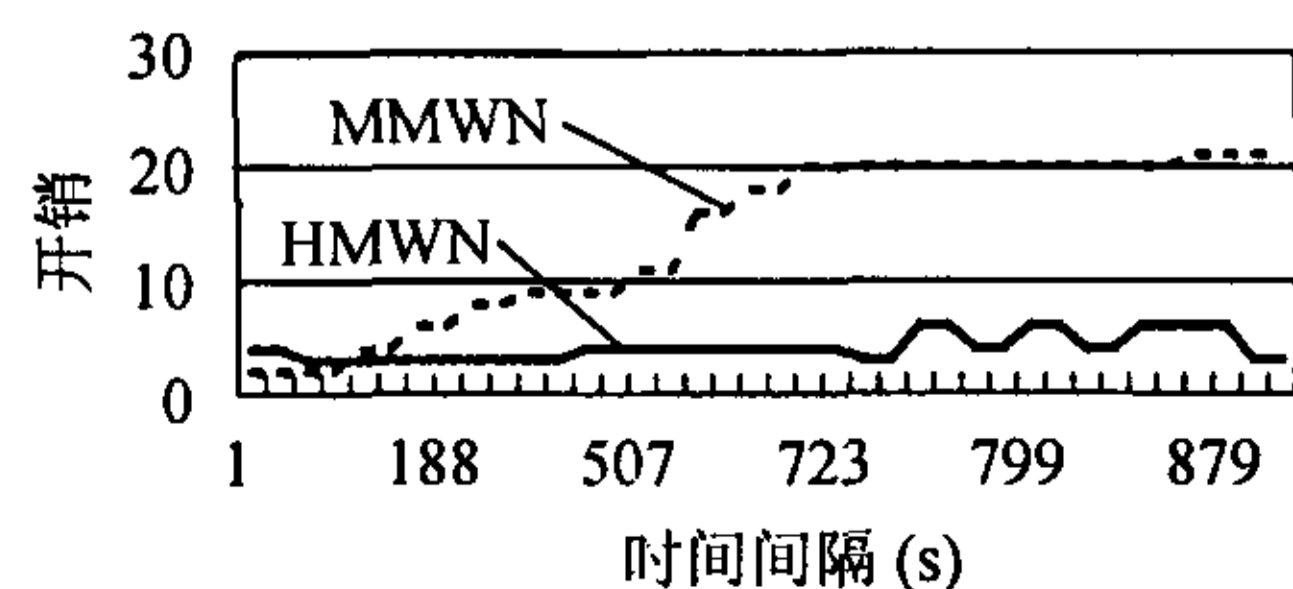


图 4 用户运动的开销与呼叫时间间隔的对比

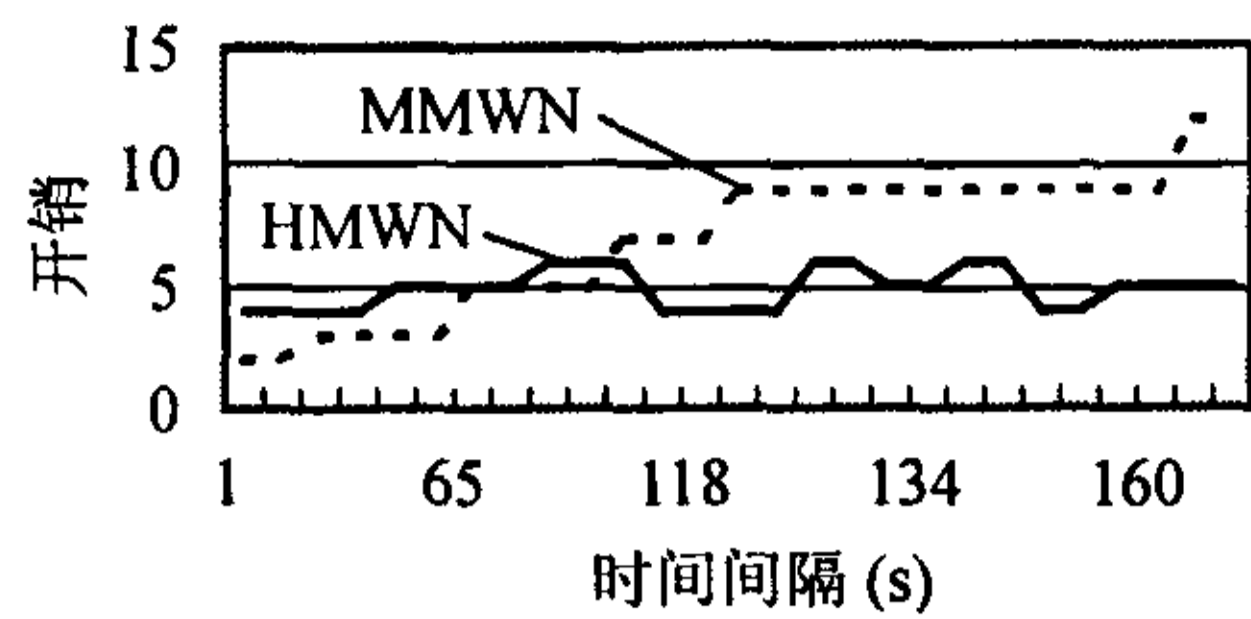


图 5 用户和交换机都动时开销与时间间隔的对比

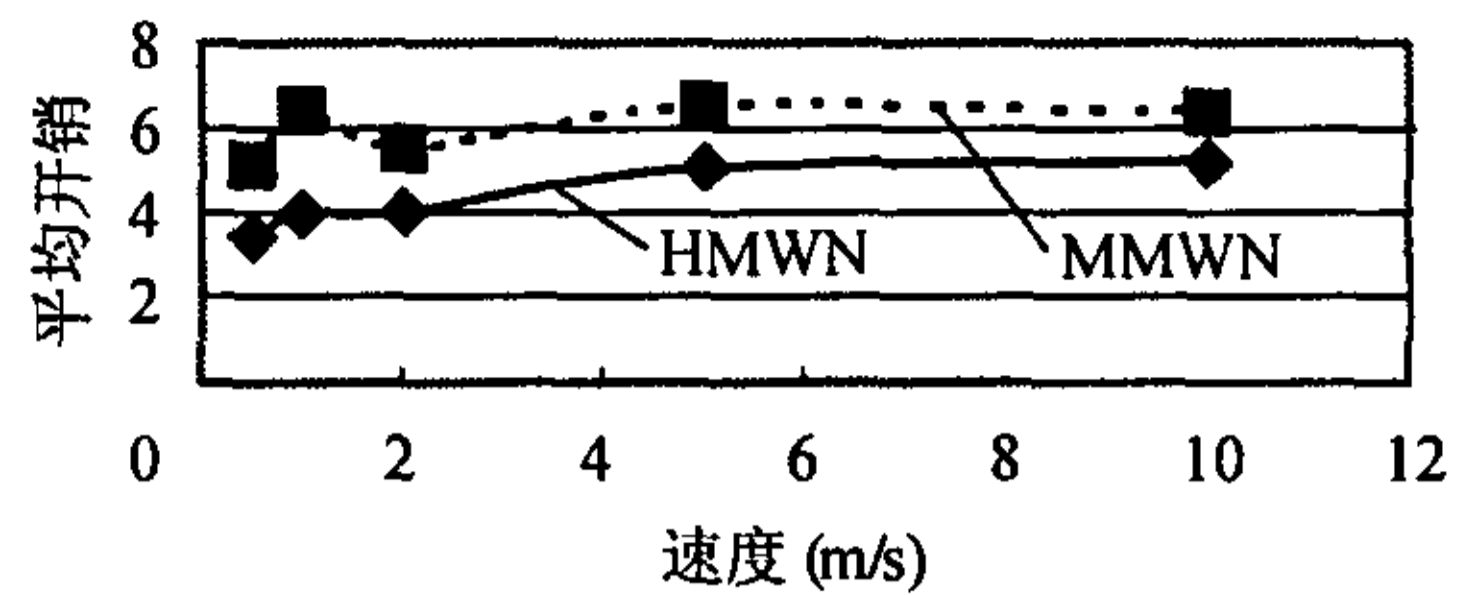


图 6 全部运动时单位时间开销的比较

## 6 结论

本文介绍了一种分层多跳无线网及其在其它网络互连情况下的移动性管理方法。这种网络的特点是只用少数几个较为复杂的交换机就可以覆盖较大的区域，并可为很多功能较单一的用户提供服务，网络可以快速动态变化，特别适合于军事应用。因而本文的移动性管理方法特别注重抗毁性和可靠性，整个移动性管理被分成宏移动性管理和微移动性管理两级。宏移动性管理使用了逻辑家乡代理的思想，可以同时使用几个家乡代理构成一个逻辑家乡代理对某一群用户服务以增强可靠性和抗毁性。微移动协议把位置更新与路由算法以及寻呼结合起来，以减少用户位置更新的开销，适应网络的结构特点。该方法的可扩展性比较好，仿真结果显示性能也有较大的提高，可以适应网络拓扑的快速动态变化。

## 参 考 文 献

- [1] Pei Guang-yu, Gerla M. Mobility management in hierarchical multi-hop mobile wireless networks. Proceedings. Eight International Conference on Computer Communications and Networks, Boston, Massachusetts, USA, Oct. 1999: 324-329.
- [2] Khaled Mahmud. A novel mobility management framework for future generation integrated wireless networks. The 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications, Honolulu, Hawaii, USA, 2002, Vol.2: 357-361.
- [3] Dutta A, Burns J. Multilayered mobility management for survivable network. [http://www.cs.columbia.edu/~dutta/research/milcom/milcom\\_draft.pdf](http://www.cs.columbia.edu/~dutta/research/milcom/milcom_draft.pdf)
- [4] Kasera K K. A location management protocol for hierarchically organized multihop mobile wireless networks. 1997 IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications Record, San Diego, California, USA, Oct 1997, vol.1: 158-162.
- [5] Haas Z J, Liang Ben. Ad Hoc mobility management with uniform quorum systems. <http://citeseer.nj.nec.com/231365.html>
- [6] Haas Z J, Liang Ben. Ad-Hoc mobility management with randomized database groups. <http://citeseer.nj.nec.com/232462.html>

田永春：男，1974年生，博士生，主要研究方向是 Ad hoc 网络技术。

郭伟：男，1964年生，教授，主要从事通信网络技术、信号处理等方面的研究。