

# 分簇结构在 Ad Hoc 网络中的应用综述

王海涛

(解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘 要:** 为了减少开销和方便网络管理, Ad Hoc 网络常采用分簇网络结构。首先阐述了 Ad Hoc 网络采用分簇网络结构的必要性, 然后从多方面讨论了分簇网络结构在 Ad Hoc 网络中的应用及其相关问题, 包括基于簇的路由、分级移动管理、资源分配和信道接入机制、洪泛广播、功率控制和蓝牙散布网络的形成, 最后对全文进行了总结。

**关键词:** Ad Hoc 网络; 分簇结构; 服务质量; 功率控制; 信道接入

**中图分类号:** TN915.04 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-5694(2003)04-0092-07

## Survey of applications of clustering structure in Ad Hoc network

WANG Hai-tao

(Institute of Communication Engineering, PLAUST, Nanjing 210007, P. R. China)

**Abstract:** In order to reduce overheads and facilitate network management, clustering network structure is often utilized in Ad Hoc network. This paper firstly expounded the necessities of using clustering network structure in Ad Hoc network, then discussed applications and related issues of clustering network structure in Ad Hoc network from various aspects, including cluster based routing, hierarchical mobility management, resource assignments and channel access schemes, flooding broadcast schemes, power control and the formation of bluetooth scatter network, and finally, gave a summarization of the paper.

**Key words:** Ad Hoc network; clustering structure; QoS; power control; channel access

## 0 引 言

Ad Hoc 网络的体系结构可以分成平面式或分级式<sup>[1]</sup>。平面式结构中, 网络中所有节点的功能和地位相等, 不存在瓶颈节点, 网络比较健壮, 并且节点的覆盖范围比较小, 相对比较安全。但在用户较多, 特别是在移动的情况下, 存在处理能力弱、控制开销大、路由经常中断等缺点, 因此它主要适用于中小型企业网络<sup>[2]</sup>。为了提高网络的可扩展性, 大型 Ad Hoc 网络通常采用分级结构。一种最常用的分级结构是分簇网络结构(见图1), 网络被划分成若干个簇, 每个簇由一个簇头和多个普通节点组成, 并且簇头和网关可以形成高一级的虚拟骨干网(VBN)。分级结构

的最大优点是网络的可扩充性好, 网络规模不受限制, 路由和控制开销要比平面结构的小, 并且可以减少共享相同信道的节点的数目, 从而降低碰撞概率。将网络划分成簇, 可以方便 Ad Hoc 网络的资源管理, 在每个簇内, 簇头可以控制节点的业务请求接入并且合理地分配带宽。基于分簇网络结构, 可以采用分级路由算法<sup>3</sup>, 簇内采用先验式路由算法, 节点维护簇内其它节点的完整的路由信息, 簇间使用反应式路由来减少通信和路由开销。此外借助于虚拟骨干网可以使用类似于 CEDAR 的路由算法<sup>3</sup>来提高业务的 QoS 保障。因此分簇网络结构可以在很大程度上提高 Ad Hoc 网络的性能和实用性。

• 收稿日期: 2003-03-18

基金项目: 国家“863”高技术基金资助项目(2001AA121063)

作者简介: 王海涛(1967-), 男, 河南焦作人, 讲师, 博士研究生, 研究方向为 Ad Hoc 网络和 QoS 保障。

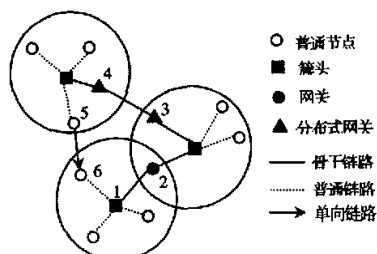


图1 Ad Hoc 网络的分簇网络结构  
Fig. 1 Clustering structure of Ad Hoc network

## 1 基于分簇结构的路由协议

基于簇的路由协议通过分簇网络结构可以减少由于节点移动对路由算法带来的影响和路由发现过程中的洪泛开销,并且能够加速路由的查找过程。为了防止路由算法对于拓扑变化的过强反应,节点通常只在簇内维护完整的路由信息,而簇间的路由借助于虚拟骨干网使用分级聚集或反应式路由以及两者的组合来屏蔽簇内的拓扑变化,从而减少了节点移动对路由协议带来的影响。另外,采用基于簇的路由可以减少参与路由计算的节点数目和路由表尺寸,从而降低交换路由信息所需的通信开销和维护路由表所需的存储开销,可扩展性较好。当网络规模较大时,采用基于簇的路由算法是一种较好的选择。

到目前为止,对基于簇的路由协议已经进行了很多研究。美军的NTDR使用了两级分簇结构和分簇路由算法<sup>[3]</sup>,簇内数据直接在节点之间投递,簇间的通信需要借助于簇头(不存在网关)。每个节点维护本簇的路由表,簇头节点还需维护簇间的路由信息,采用OSPF协议完成簇间路由信息的交互。NTDR采用的路由协议主要用于无线数据网络中进行点到点连接。CGSR<sup>[4]</sup>是为了减少网络中的路由信息而设计的一种分簇路由算法,簇内交换的信息多,簇间交换的信息少,通过簇头来控制信息的传播。分布式动态分簇算法(DDCA)维护的簇满足 $(a, t)$ 标准<sup>[5]</sup>,即在一个规定的时间间隔 $t$ 内,簇内所有节点间的路径可用性概率大于门限 $a$ 。该分簇算法的目的是减少拓扑改变对路由协议的影响,同时尽量支持更多的优化路由。该框架能够支持一种自适应的混合路由体系结构,当移动性较低时,簇的范围较大,并且倾向于采用先验式路由算法;而当移动性较强时,簇的范围较小,更多地采用反应式路由。这种基于簇的路由算法具有较高的反应性和带宽效

率,可以自适应地平衡先验式路由和反应式路由。文献[6]提出了一种用于动态网络的基于簇结构的路由算法,该算法的性能(收敛时间和拓扑更新开销)取决于网络中簇的平均尺寸,并且簇为集团簇。文献[7]提出了基于分簇结构可以支持实时连接的带宽路由算法,簇中节点的带宽定义为一个节点允许通过的实时连接的数目,它的目标是找到能够满足带宽要求的最短路径。除了负载平衡外,该路由算法还可以支持备份路由,这对移动环境下保证业务的性能非常重要。分级状态路由协议(HSR)<sup>[8]</sup>是基于链路状态的用于分簇网络的路由算法,它能够减少路由开销并且可以在链路状态中增加链路带宽和信道质量状态信息来对其进行扩展以支持业务的QoS要求。CBRP<sup>[9]</sup>的目标是实现一个分布式、高效的可扩展路由协议,它采用基于簇的源路由机制来减少按需路由发现的洪泛分组,采用本地修复机制来增加分组投递率、减少路由发现时延和开销,并且使用路由缩短机制来优化路由。CBRP可以应用于单向链路环境,特别适合于网络中由少部分节点产生的大部分业务流量,并且应用能够容忍一定路由发现时延的场合。CEDAR<sup>[10]</sup>是一种基于簇结构的QoS路由算法,它的目标是构建一个稳定的虚拟核结构用于可靠有效地分布路由信息。该算法中核区由核节点(簇头节点)组成,核节点构成MCDS。普通节点选择某个核节点作为其统治者。节点之间通过交互消息来确定核区,尽量使核区中的节点个数最少。核节点通过本地广播来确定到邻近核节点的路由,链路状态的传递距离基于链路的稳定性和链路的带宽,稳定性较好,带宽较宽的链路状态信息传递的较远。CEDAR的优点是链路状态传播的距离依赖于链路的稳定性和质量,并且路由发现和维护仅限于核节点,当网络规模较大时,路由发现和维护的开销较少,能够较好地支持实时业务的QoS要求。

此外,基于分区的路由协议也可以看成一种特殊形式的分簇路由协议,其设计初衷也是减少路由协议的通信和存储开销来提高路由的可扩展性,但是分区通常在网络初始化时确定而不需周期维护,并且分区相对比较简单。ZRP<sup>[11]</sup>是距离矢量路由和DSR路由协议的组合,为每个节点定义一个路由区,每个节点只需知道路由区内的拓扑信息。由于路由查询消息只向路由区的边缘节点发送,路由发现引入的查询消息数量较少。此外,ZRP采用线程交

叠避免机制来减少由于路由区域相互交叠引入的重复转发。ZRP 的性能在很大程度上由区域半径决定,小的区域半径适合在移动速度较快的节点组成的密集网络中使用,而在移动速度较慢的节点组成的稀疏网络中宜采用大的区域半径。ZHL<sup>[12]</sup>包含两类路由消息:区内消息和区间消息,前者用来提供一个区内的拓扑信息,并只在区内传播,后者提供区间连接信息并在全网传播。它定义了两级拓扑:节点级和区级,如果在两个区间至少存在一个物理链路,那么区间存在一个虚拟链路。由虚拟链路构成区级拓扑。每个节点利用本地传播的节点级拓扑信息和全网传播的区间拓扑信息来构造区内路由表和区间路由表。只有当节点移动改变了区间的连接时才在区间传播消息,但区间连接相对稳定,因此减少了路由协议的通信和存储开销。另外,虚拟子网体系结构中采用的路由也可以看作是基于簇的路由。

## 2 基于分簇结构的网络管理

对某个特定的Ad Hoc 网络,采用何种控制结构以及使用什么样的算法组织和维护该结构,依赖于网络希望实现的控制功能、网络的规模、预期的网络状态变化的频率和幅度以及网络可用的资源。管理Ad Hoc 网络比管理有线网络和蜂窝网络困难得多。对Ad Hoc 网络而言,移动管理是一项重要的管理内容。移动管理也称移动跟踪或位置管理,主要用于在移动环境下实时地提供移动节点的静态标识符(即移动节点的名字)和它的动态地址(即相对于网络结构的位置)之间的映射。蜂窝网络可以通过家乡位置寄存器(HLR)和拜访者位置寄存器(VLR)来实现移动管理;而Internet 中的移动管理可以借助于移动IP 协议来实现,移动节点周期性地收到家乡代理(HA)和外地代理(FA)广播的代理广播消息,根据消息的内容确定自己所处的位置。但这些移动管理机制不适用于Ad Hoc 网络,因为不能将移动管理功能以静态的方式分配到某些节点上。对于规模较小的平面Ad Hoc 网络,可以借助路由协议来获得所需节点的地址。但是当网络规模较大时,为了减少开销,通常采用分级簇网络结构来实现移动管理<sup>[13]</sup>。因为通过分级结构,可以将必要的状态管理信息分布到各个簇内,从而方便地进行位置管理。

MMWN<sup>[14]</sup>分簇网络采用寻呼和查询/响应方式来跟踪节点的分级地址,每个簇有一个节点充当

位置管理器来跟踪簇内的节点并且能够用于辅助定位簇外的节点。每个节点相对于分级结构有一个漫游级别,它可以在相应的级别隐含地定义漫游簇,并且可以使用寻呼技术在当前的漫游簇中定位移动节点。为了减少位置更新引入的开销,节点移动性越强,其配置的漫游级也越高。当一个节点移出其当前漫游簇时,它向位置管理器发送位置更新消息并传播到高级簇。一个节点可以通过发送位置查询消息来获得某个端节点的地址。但是MMWN 的移动管理机制比较复杂。移动管理代理与网络的分级拓扑结构紧密联系,从而使得位置更新和查找比较复杂。位置更新和查找必须经过由位置管理器构成的级连树,而且一个位置管理器的分级簇成员的改变将会引起位置管理树的重新构造以及复杂的一致性维护。此外寻呼和查询/响应方法会引入大量开销和时延。虚拟子网结构<sup>[15]</sup>也能够比较方便地实现移动管理。当节点移动而改变地址时,此节点将向新的物理和虚拟子网中的所有节点通知其地址。当源节点不知道目的节点的当前逻辑地址时,它可以通过查询它的物理(或虚拟)子网来获得该节点地址,因为目的节点必定是它的某个逻辑邻居节点,从而使得位置更新和定位变得十分简单。这种位置更新和定位机制最多涉及 $p+q$ 个节点,其中 $p$ 为物理子网数, $q$ 为虚拟子网数。对于大型的网络,大大减少了信令和控制的开销。

基于HSR 分级结构的移动管理机制<sup>[13]</sup>除了将网络划分成多级簇外,还将网络分为多级逻辑分区。物理分簇一般基于节点之间的地理位置和物理关系,而逻辑分区基于节点之间的逻辑和功能关系,逻辑分区在移动管理中起着重要的作用,它可以分离移动管理和物理分级结构。在HSR 分级结构中,除了物理MAC 地址以外,每个节点还被分配形如(子网号、主机号)的与IP 地址格式类似的逻辑地址。每个逻辑子网可以包含几个物理簇,并至少与一个家乡代理相联系。该方法类似于移动IP,但是家乡代理也可以移动。节点通过HID 注册过程来完成家乡代理上的逻辑IP 子网成员的逻辑IP 地址和物理HID 地址的绑定更新。然后节点可以借助于目的主机所在子网的家乡代理来获得目的主机的物理HID,并且可以同时使用地址缓存技术来减少HID 发现过程引入的开销。通过引入逻辑分区和家乡代理,该机制可以较方便地管理每个子网中成员节点的级连地

址的变化。

此外,基于分簇结构的网络管理机制可以减少管理者和代理(移动节点)之间的消息交换和响应时间,提高管理的效率。文献[16]提出了一种用于关键的网络管理操作来支持基本服务功能的协议,该协议通过选择部分关键节点来高效地管理网络资源。那些本地状态较好的可以保障它们之间以及与其他节点进行可靠通信的节点被选择作为骨干节点来构建平面网络之上的骨干网络。ANMP<sup>[17]</sup>充分考虑了Ad Hoc 网络的动态特性,它采用分簇结构进行网络管理。由簇头负责管理簇内的节点,而后由管理者负责管理和协调簇头并可以直接管理簇内节点,簇头可以先对信息进行预处理再向管理者报告,从而减少了消息开销,提高了资源使用效率。ANMP 主要包括数据收集、配置/错误管理以及安全管理,并且管理者可以对代理的行为进行完全的控制。此外,ANMP 与SNMPv3 兼容,实现了复杂的安全机制来满足特定的要求。

### 3 基于簇的资源分配和信道接入机制

资源分配和信道接入是当前Ad Hoc 网络面临的两个难点,但是通过将网络划分为簇,可以在很大程度上降低这两个问题的难度。此时,分簇网络类似于蜂窝网络,而簇头类似于基站。在每个簇内,簇头可以控制节点的业务接入(资源)请求并能够合理地分配带宽。例如:在分簇结构中,借助于令牌访问协议,簇头可以监视簇内的所有业务量和信道的质量、区分实时业务和数据报业务,并为实时业务预留带宽和创建虚电路<sup>[4]</sup>。在一个簇中,簇头可以充当中心控制器,如果簇间使用不同的码字,那么可以方便地解决隐终端问题。在分簇网络结构中,一种最简单的分配资源的方法是由簇头轮询成员节点并依次为它们分配无线信道。轮询与IEEE802.11 中的点协调功能(PCF)一致,由簇头进行业务调度,通过合理地选择簇头并限制簇内节点的数量来减少轮询引入的时延,从而可以比较轻松地支持实时业务。对于规模较大的簇,还可以考虑结合使用轮询和随机接入机制来减少时延。

自组织网络体系结构<sup>[18]</sup>假定每个节点可以获得准确的全局时钟,系统包括一个公共信道和多个用户信道,在簇内采用随机竞争接入方式,而骨干网络常用来传输业务量较大的突发性较弱的业务流,

常采用TDMA。在分簇TDMA<sup>[19]</sup>中,簇内每个帧包括固定的TDMA 控制时隙和按需分配的数据时隙用来支持数据报业务和实时业务,但是帧间需要同步。无簇头自适应分簇结构<sup>[7]</sup>中,信道接入机制采用TDMA 和CDMA 的组合,簇间使用不同的码字,只需簇内同步,这比在全网维护时隙同步要容易得多。借助于分簇结构和TDMA 机制,自适应分簇机制可以比较轻松地支持实时业务预约时隙和建立虚电路。与此类似,WAMIS 结构<sup>[21]</sup>采用有簇头的分簇结构。簇内可以方便地使用时分调度算法来分配资源,不相邻的簇可以重用时间隙和码字。该系统将整个帧划分为控制子帧和数据传输子帧两部分,控制子帧使用基于相同码字的固定的TDMA,每个节点轮流向周围邻居广播信息,于是可以分布式地执行网络控制功能。控制阶段还用于在邻居节点间交换功率增益,簇头可以收集所有成员节点的功率增益列表并维护功率增益矩阵用于簇内的控制功率调整和码字分配。信息子帧可以支持虚电路和数据报业务,为了确保实时业务,采用提前预约机制,并且结合功率控制算法来防止来自其它簇的干扰。此外,文献[21]提出了基于集团簇结构进行资源分配的机制。在簇内,为了保证调度的公平性,数据业务使用循环调度机制接入信道,实时业务采用具有带宽预约的捎带确认机制占用信道。该分簇结构可以提高资源的空间重用率,并且由于节点不需要维护准确的公共时间,消除了引入全局时钟或时间同步机制带来的开销。

### 4 基于分簇结构的功率控制

在网络中采用功率控制可以节省节点的能量,减少节点间的干扰,提高信道的利用率和网络容量<sup>[22]</sup>。由于没有基础设施和中心节点支持,在Ad Hoc 网络中很难应用功率控制机制,但是分簇网络结构为功率控制机制的实施提供了方便。通过将网络化分成簇,Ad Hoc 网络结构与蜂窝网络非常接近,从而可以采用类似于蜂窝网络中CDMA 系统采用的功率控制机制来支持实时业务的连接。CDMA 中功率控制的目标是调整所有移动站(MS)到基站(BS)的信号接收功率的级别来消除远近效应和提高链路的容量。在CDMA 中,按照基站接收到的MS 的信号功率来反向调整MS 的发送功率。为此,MS 需要监视来自BS 的向导信号(Pilot)并且执行一个闭环功率控制机制来估算合适的发射功率。在

分簇Ad Hoc网络中,簇头可以履行BS的职责,普通节点和网关节点可以通过测量来自簇头的接收信号的强度来调整发送功率<sup>[23]</sup>。采用功率控制有时会产生数量众多的小型簇,从而减少分簇结构的稳定性,因此需要根据无线设备可以调整的功率范围、当前的节点度数与理想节点度数的差值来合理地应用功率控制机制。另外,功率控制会产生不对称链路(单向链路)问题,从而影响路由和信道接入协议的性能。但是通过使用开环功率控制可以解决簇头和簇内移动节点间的绝大部分不对称链路问题。如果开环功率控制不能奏效,簇头可以实施闭环功率控制,由簇头发送信息来通知移动节点增加或减少发送功率;如果簇内移动节点间存在不对称链路问题,可以通过簇头的中继转发来解决这个问题。

此外,节点也可以通过改变控制信号的发射功率来调整簇的大小、改变网络的连通度并提高分簇结构的性能。例如:当节点密度较高时,可以减少发射功率来减少簇内节点的数目,而当节点密度较少时,可以增加发射功率来提高节点的使用效率,即将簇内的节点控制在一个合理的范围。采用具有活动链路保护功能的分布式功率控制机制(DPC-ALP)<sup>[24]</sup>,节点可以基于网络性能自适应调节传输功率。采用这种方法可以减少节点移动的影响,提高簇结构的稳定性,减少节点间的干扰,从而提高了系统的利用率和吞吐量。

## 5 基于分簇结构进行洪泛广播

洪泛搜索和查询是按需路由协议和多播协议的基础,由于通常不存在现成的路由和地理定位设施来引导分组的投递,路径查询分组需要通过洪泛机制向全网或部分网络范围广播。洪泛(广播)是指一种分组发布过程,除了接收该分组链路,每个节点将接收到的分组向它的每个输出链路转发。由于每个收到洪泛分组的邻居节点将会重新广播此分组,如果不实施某种控制机制,洪泛广播将产生大量的重复的分组,并且洪泛开销将随着网络规模的增加而增加,严重影响网络协议的可扩展性<sup>[25]</sup>。当前常用的解决方法是赋予洪泛分组唯一的序列号,接收节点可以检测到重复的洪泛分组并将其丢弃以免无谓的循环,另外还可以限定每个洪泛分组的TTL字段来限制洪泛分组广播的范围<sup>[26]</sup>。即使采用以上机制,洪泛广播仍会为每个邻居节点产生重复的分组,

为此需要寻求更好的解决方法。

通常而言,洪泛用来查找到目的节点的可行路径或者用来通知路由信息,当网络密度较高时没有必要让每个节点都转发洪泛广播分组,实际上只需部分节点转发洪泛分组就可以达到目的。例如选择网络的最小统治集来投递洪泛分组,统治集的选择可以不依赖簇结构或需要使用簇结构。当不使用簇结构时,通常需要构造具有最大数量叶节点的源节点树和具有较好覆盖特性的网格,通过禁止叶节点参与分组转发来提高洪泛效率<sup>[27]</sup>。但是这种方法要求节点获得两跳的连接信息,并需要为每个新会话请求构造多播树。使用分簇的方法构造虚拟骨干网络来支持洪泛广播的好处在于可以在形成分簇结构的同时构造多播路由,并且只要网络拓扑不发生大的变化,则不需要为每个新来的业务源请求重新构造多播结构。但是这种方法构造的多播路由往往不是最优的,并且骨干网络可能存在环路。

文献[28]中采用由一个连通统治集中的节点来重传广播消息的方法来解决洪泛算法带来的开销较大问题。借助于分簇算法,可以方便地得到一个统治集和多个连通统治集。当簇结构形成后,每个簇头节点可以与邻居簇头节点协商来消除不必要的边界节点,从而减小连通统治集的大小。此外,文献[29]提出了一种基于被动分簇的洪泛广播机制,该算法只允许簇头和部分网关节点转发洪泛分组,从而大大提高了洪泛效率。

## 6 分簇结构在蓝牙散布网络中的应用

蓝牙散布网络(Scatternet)由多个微网(Piconet)构成<sup>[30]</sup>,微网包括一个主节点和最多7个从节点,并且每个主从节点都使用自己的跳频图案通信,由各个微网互连构成的网络拓扑称为散布网络。蓝牙散布网络中,一个节点可以同时充当多个角色,如同时是一个微网的主节点和其他几个微网的从节点。节点使用时分机制在不同的微网间切换,由于每次切换都将引入时延(调度和同步时间),因此希望可以在不丢失网络连通性的情况下减少节点角色和微网数量的散布网络形成算法。在蓝牙散布网络中,可以将主节点看成簇头,而将从节点看作普通节点,从而可以看成一种对节点的角色进行限制的特殊分簇结构。因为它需要对节点充当角色的数量加以限制,并满足网络连通性要求,故可以通过对现

存的分簇机制加以改造来实现。文献[31]提出了两种散布网络形成算法,将每个节点的角色限制在两个或三个,从而减少了节点的切换时延和管理开销。在这两种算法中,每个节点只需知道邻居节点的状态信息。第一种算法基于某个指派的根节点来构造覆盖所有节点的蓝牙树,此外还对一个主节点控制的从节点的数量加以限制。第二种算法通过选择多个根节点来构造树结构从而加速散布网络的形成。第二种算法分为两个阶段:在第一个阶段,首先选择部分节点作为根节点,可以根据某种选择簇头的标准选择根节点,然后这些根节点按照算法1的过程来构造子树,该阶段的完成时间与节点的密度紧密相关;在第二阶段,各个子树进行合并从而构成覆盖整个网络节点的扩散网络。

## 7 小 结

基于分簇算法的分簇结构对于提高Ad Hoc 网络的性能有着重要的意义,使用分簇结构既有利于移动管理、资源分配,还可以比较方便地采用结合先验式和反应式优点的混合式路由。但是分簇算法本身会带来计算、通信和维护开销,为了减少分簇算法的负面影响,必须提高分簇算法的性能,特别是减少通信和维护开销。本文总结和探讨分簇网络结构在Ad Hoc 网络中的诸多应用,一方面使我们更加清楚地认识到分簇网络结构的优势,另一方面也可以通过总结来分析分簇网络结构存在的问题和今后的发展方向。尽管目前Ad Hoc 网络的分簇算法已经得到了广泛的研究,但是目前实际的应用还较少,大多结论都是模拟和试验平台下的模拟或实验结果。为此,需要在实际的网络中检验各种分组算法和相关机制的性能,选择符合实际环境需求的最佳的分簇算法及其相关机制,从而能够在节省网络资源的同时为各种业务提供相应的QoS 保证。

### 参考文献:

- [1] 赵志峰,郑少仁. Ad Hoc 网络体系结构研究[J]. 电信科学,2001,17(1):14-17.
- [2] 王海涛,郑少仁. 自组网的路由协议及其QoS 保障[J]. 现代电信科技,2001,(2):4-7.
- [3] HONG Xiaoyan,XU Kaixin,GERIA Mario. Scalable routing protocols for mobile Ad Hoc networks[J], IEEE Network, 2002,16(4): 11-21.
- [4] CHIANG C,WU H K, LIU Winston, et al. Routing in clustered multihop, mobile wireless networks[C]. The IEEE Singapore International Conference on Networks,1997: 197-221.
- [5] MCDONALD A Bruce,ZNATI Taieb F. A mobility-based framework for adaptive clustering in wireless Ad Hoc networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999,17(8):1466-1487.
- [6] KRISHNA P,VAIDYA N H, CHATTERJEE M, et al. A cluster-based approach for routing in dynamic networks [C]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 1997:372-378.
- [7] LIN C R,GERLA M. Adaptive clustering for mobile wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1997,15(7):1265-1275.
- [8] PEI G,GERLA M,HONG X, et al. A wireless hierarchical routing protocol with group mobility[C]. In Proceedings of IEEE WCNC'99, New Orleans, LA, Sep. 1999.
- [9] JIANG M,LI J,TAY Y C. Cluster-Based Routing Protocol (CBRP)[DB/OL], draft-ietf-manet-cbrp-spec-01.txt, Internet Draft, IETF, Aug. 1999.
- [10] RAGHUPATHY S, PRASUN S, VADUVUR B. CEDAR: a core-extraction distributed Ad hoc routing algorithm[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1999,17(8):78-89.
- [11] PEARLMAN M R,HAAS Z J. Determining the optimal configuration for the zone routing protocol [J], IEEE Journal on Selected Areas in Comm, 1999,17(8): 1395-1414.
- [12] JOA Mario Ng. Routing protocol and medium access protocol for mobile Ad Hoc networks [D]. Phd Thesis, Polytechnic University, January 1999.
- [13] PEI G,GERLA M. Mobility management in hierarchical multi-hop mobile wireless

- networks [C]. Proceedings of IEEE ICCCN'99, Boston, MA, Oct. 1999.
- [14] RAMANATHAN R, STEENSTRUP M. Hierarchically organized, multihop mobile wireless networks for quality of service support [J]. Mobile Networks and Applications, 1996, 3(1):110-119.
- [15] SHARONY Jacob. An architecture for mobile radio networks with dynamically changing topology using virtual subnets[J]. ACM-MONET Mobile Networks and Applications, 1996, 1(1):75-86.
- [16] BASAGNI S, TURGUT D, DAS S K. Mobility-adaptive protocols for managing large Ad Hoc networks[C]. Proceedings of IEEE ICC, Helsinki, Finland, June, 2001, 1539-1543.
- [17] CHEN Wenli, JAIN Nitin, SINGH Suresh. ANMP: Ad Hoc network management protocol[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, 1999, 17(8):1506-1531.
- [18] ROBERTAZZI Thomas G, SARACHIK Philip E. Self-organizing communication networks [J]. IEEE Communications Magazine, 1986, 24(1):28-33.
- [19] GERLA M, TSAI J T C. Multicluster, mobile, multimedia radio network [J]. Wireless Networks, 1995, 1(3):255-265.
- [20] ALWAN A, BAGRODIA R, BAMBOS N, et al. Adaptive mobile multimedia networks [J]. IEEE Personal Communications, 1996, (4):34-51.
- [21] LIN Chunhung Richard, GERLA Mario. A distributed control scheme in multi-hop packet radio networks for voice/data traffic support[C]. In Proceedings of IEEE ICC95, 1995.
- [22] GOLDSMITH Andrea, WICKER Stephen. Design challenges for energy-constrained Ad Hoc wireless networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(4):8-27.
- [23] CERLA Mario. Clustering and routing in large Ad Hoc wireless nets [EB/OL]. <http://www.ucop.edu/research/micro/98-99/98-044.pdf>, 1998.
- [24] GERLA Mario, TSAI Jack Tzu-Chieh, BAMBOS Nicholas, et al. A distributed, mobile wireless infrastructure for multimedia applications[C]. Fifth WINLAB Workshop on Third Generation Wireless Networks, New Jersey, Apr, 1995.
- [25] TANG K, GERLA M. MAC reliable broadcast in Ad Hoc networks [C]. Proceedings of IEEE MILCOM 2001, McLean, Virginia, Oct. 2001.
- [26] CHEN Shigang. Routing support for providing guarant end-to-end quality-of-service [D]. Phd thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- [27] MILNER S D, WIESELTHIER J E, IYER R R, et al. Scalability of dynamic wireless tactical networks [C]. MILCOM 2001, Washington, USA. 2001.
- [28] CHEN G, NOCETTI F, GONZALEZ J, et al. Connectivity based k-hop clustering in wireless networks[C]. Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences, 2002.
- [29] KWON T J, GERLA M. Efficient flooding with passive clustering (PC) in Ad Hoc networks [R]. ACM Computer Communication Review, volume 32, number 1, January 2002.
- [30] FRODIGH Magnus, JOHANSSON Per. Wireless Ad hoc networking-The art of networking without a network[R], Ericsson Review, 2000(4): 248-262.
- [31] Bluetooth-Based Ad Hoc Networks[Z]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Communications 2001, Helsinki, Finland, June 2001.
- [32] 王海涛, 郑少仁. 移动Ad Hoc网络路由协议及其性能比较[J]. 重庆邮电学院学报(自然科学版), 2002, 14(4):73-77.

(编辑:郭继笃)