

无线自组网与 Internet 互联方案比较

熊 健 向 勇

(清华大学计算机科学与技术系 北京 100084)

摘 要 通过无线自组网路由协议与 Internet 路由协议的协作,移动节点可经由多跳与网关节点通信,从而实现移动节点与 Internet 互联。首先分析了自组网与 Internet 互联所面临的困难,然后详细比较了多种已有的互联方案,从寻址、网关带宽瓶颈、路由复杂性及组播等方面进行了对比分析,最后总结了各种方案的性能特点和适用场景,并展望了该领域的进一步研究方向。

关键词 自组网, 互联, 网关

Comparison among Schemes of Interconnection of MANET and Internet

XIONG Jian XIANG Yong

(Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract By combining the routing protocols in MANET and Internet, mobile nodes can communicate with the gateway through a multi-hop path and achieve interconnection of MANET and Internet. The difficulties of MANET and Internet interconnection are reviewed firstly. A comprehensive survey on schemes of the interconnection is given. By analyzing and comparing these schemes from the aspect of addressing, bandwidth bottleneck on gateway, routing complexity and multicast technology, we draw the conclusion on the characteristics and application range of these schemes, and the further research trend.

Keywords MANET, Interconnection, Gateway

1 背景

随着互联网和无线通信技术的飞速发展,人们越来越多地依赖于 Internet 提供的服务,并期望通过无线设备实现随时随地的接入,且在移动时能够保持通信。在移动 IP 协议下,用户可以随时接入和漫游,但是需要网络基础设施的支持。网络基础设施的覆盖范围是有限的,大量布置的代价和性能难以满足日益增长的移动用户接入互联网的需求。于是,MANET(Mobile Ad Hoc Networks, 无线自组织网络,简称自组网)与 Internet 互联的技术被提出,以实现更低代价和无基础设施条件下移动用户接入互联网络。

MANET 网络通过多跳数据转发机制进行数据交换,将其作为 Internet 的延伸,具有更大覆盖范围,更强的适应性和便利性。MANET 路由由建立移动节点到代理网关的多跳无线链路,通过网关与 Internet 实现互联,即可解决移动节点接入 Internet。在这种环境下,一个 MANET 子网中只要有节点能和网关进行通信,则整个子网的节点都可实现接入互联网,大大拓展了网络基础设施的覆盖范围。

由于 MANET 自身的特点及其与 Internet 的差异,MANET 网络与 Internet 的互联方面主要面临以下几个方面的困难。

(1) 地址分配和管理

Internet 是分层地址结构,IP 地址前缀用来表示节点的网络位置。而 MANET 网络中移动节点的 IP 地址一般只作为节点标识,路由协议针对每个移动节点维护一个路由条目。Internet 中不可能为每个移动节点设置一条主机路由,因此

只能通过规定移动节点在某个子网来解决 Internet 路由。而移动节点会在不同 MANET 加入和退出,有互联需求或无互联需求,因此移动节点对 IP 地址的需求、占用及可能出现的地址冲突等成为 MANET 互联的困难之一。

(2) 带宽瓶颈

而当 MANET 与 Internet 互联时,代理网关提供通向 Internet 的连接,网关无线接口即为提供给 MANET 网络的互联可用带宽,因此网关极易成为互联的带宽瓶颈,而采用增加网关的数量来消除瓶颈,移动节点在不同网关间漫游又会导致路由的复杂性。另外,网关成为提供互联的代理的同时也是 MANET 的成员之一,也会成为中转节点参与移动节点间的通信,因此 MANET 网内的负载或网关附近节点的冲突区域都将影响互联的带宽。

(3) 漫游和切换

与单跳的移动通信网络不同,移动节点在不同 MANET 子网间移动和漫游时的切换问题更为复杂。由于 MANET 网络的特殊性,移动节点可能不直接与网关进行一跳的无线通信,因此在有多个网关可达时,必须有对应的网关选择策略和切换机制,保证性能同时开销最小。另外,节点在不同网关之间的切换会带来对移动节点寻址及路由的复杂性,不当的切换机制会导致路由频繁变化,严重影响网络性能。

(4) 组播问题

在 MANET 与 Internet 互联的情况下,高效利用有限的资源对于移动节点来说尤为重要,无线网中的组群与有线子网中的组群通信时,若采用单播方式进行,网关会成为最大的瓶颈,因此组播技术在 MANET 与 Internet 的互联环境下同

样重要。在 Internet 网络及 MANET 中,各自有着较为成熟的组播协议,Internet 中采用组管理协议 IGMP (Internet Group Management Protocol)来实现组播成员的管理,一般都考虑其组播成员是静态的,不考虑成员位置动态变化的情况。在 MANET 网络中,组播成员都是动态变化的,因此两种网络的组播路由协议差别很大,当进行互联时两类协议都不能满足混合网络下的组播。近年的相关研究提出了一些混合网络下组播的解决思路,但是还没有较为完善的解决方案。

针对以上互联时所面临的问题,本文将介绍 MANET 与 Internet 的互联方案的发展现状,从地址寻址、带宽瓶颈、路由复杂性以及组播应用等方面对各种方案进行对比分析,得出比较结论并提出未来的研究方向。后续内容安排如下:第 2 节介绍单网关互联的方案和组播应用对比;第 3 节介绍多网关互联的方案和组播应用并进行对比;最后给出对比分析结论及未来的研究方向。

2 MANET 与 Internet 的单网关互联

2.1 基于 NAT 的互联

基于 NAT (Network Address Translator) 的互联方案^[1,2],其拓扑结构如图 1。

在这种方案下,通过 DHCP 或其它机制给移动节点分配 IP 地址,使 IP 地址处于同一专用网络之内(如 192.168.1.*),目的是使 MANET 能区分哪些是移动子网内部节点,哪些是 Internet 节点。移动子网内部使用 MANET 路由机制(如 AODV),外部则使用标准 Internet 协议。此时,当移动节点发起连接时,若目标节点是网内节点,则直接通过 MANET 路由协议发现路由;若目标节点是 Internet 节点时,将数据发向互联的网关,由网关转发到目标节点,网关转发的同时为移动节点提供 NAT 服务。每个移动节点访问 Internet 网络时,源 IP 地址及端口号均由网关转换为网关的 IP 地址和一个临时分配的一个对应端口号,此时整个子网共用一个 Internet 全局可路由 IP 地址,即网关的 Internet IP 地址。

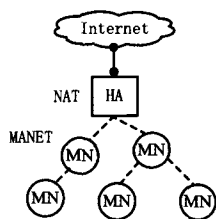


图 1 基于 NAT 的互联方案

在这种方案下,Internet 中有远程节点需要访问 MANET 网络中的移动节点时,目标节点的 IP 地址将会是共用的网关 IP 地址,因此不能寻找到目的主机。解决的办法是可以通过端口映射机制,在网关上为每个移动节点分配几个静态端口与移动节点的内网 IP 及一个静态端口对应。这样远程节点可以通过网关 IP 和分配的端口来连接移动节点,实现双向互访。其缺陷是如果移动主机提供某种服务时,远程节点需要事先知道 NAT 为服务主机分配的静态端口范围才能访问移动节点。

2.2 基于移动子网的互联

基于移动子网的互联方案的拓扑结构与 2.1 节所述的不同,不同的是移动子网不采用基于 NAT 的专用网络形式,而是移动节点与网关处于同一 Internet 子网下,具有相同的网

络前缀,这样每个移动节点都具有全局可路由的 IP 地址。同样,移动节点可以根据 IP 地址网络前缀判断目标节点是 MANET 内的节点还是 Internet 节点。当移动节点需要访问 Internet 节点时,则将数据发向网关,由网关实现向 Internet 节点的转发。而当远地节点需要访问 MANET 内的节点时,根据地址网络前缀判断其所在子网来进行路由,数据到达网关后经 MANET 路由协议建立路由,完成数据传送,因此能实现与远程节点的双向互访。

在这种方案下,每个移动节点具有一个全局可路由 IP 地址,解决了移动节点的路由寻址的问题。当多个网关存在时,移动节点可能移动到其它网关的覆盖区域并继续与互联网通信,若需要保持不间断的通信,则可以结合移动 IP 技术来实现平滑切换,实现保持连接的漫游,使移动节点能够更大范围地移动。

2.3 单网关互联下的组播

文献[3]提出了互联环境下的组播方案的一些设计思想,并初步提出了一个适用于单网关条件下基于移动子网互联的组播方案。其基本思想是在 MANET 域内使用自组网组播路由协议,在有线网络内使用 Internet 组播路由协议,在两种网络互联的网关上利用 IGMP 来实施两个组播域的互联。

在该方案中,有线网络使用了 MOSPF 组播路由协议, MOSPF 在组播路由器上侦听。而在 MANET 网络中使用了 MAODV 路由协议,将 MANET 网络视为一个独立的网段,在互联的网关上对 MAODV 的组播路由请求转化为 IGMP,实现组播加入。而 MOSPF 只需把网关当成其组播成员,因此屏蔽了 MANET 网络中使用的何种组播路由协议。

为了使 MANET 网络能加入所能侦听到的组播组,需要对 MAODV 路由程序进行改进,以便使网关能通知 Internet 组播路由器这些有加入需求的组的存在。

当一个组播组存在于 Internet 网络,而一个 MANET 移动节点想加入时,节点发出一个对该组的路由请求 RREQ。RREQ 到达网关后,改进的 MAODV 生成一个 IGM Pgroup_join 信息,以便于 MOSPF 能感知有一个来自 MANET 的移动节点想要加入某个组。MOSPF 接下来会处理这个 IGMP 信息,实现移动节点成员的加入,而随后需要加入组播的移动节点可以在 MANET 内加入组播组。

当一个组播组存在与 MANET 网络,而 Internet 网络节点想加入组播时,它将发送 IGM Pgroup_join 信息,该信息在 Internet 网络内传播直到到达互联的网关。而网关同时是 MANET 中的组播成员节点,此时网关需要向组播路由器就 Group_join 信息进行应答,实现该节点加入组播组。来自 MANET 的组播数据由网关发送到 MOSPF 组播路由器,然后交由 MOSPF 处理。

2.4 单网关互联方案的比较

从实现角度来看,基于 NAT 的方式实现最为简单,不用增加新的 IP 地址,移动节点使用“内部地址”,面向 Internet 则为网关节点的 IP 地址。网关节点针对每个移动节点进行地址转换,因此适用于整体性移动不大的 MANET 网络。其缺点是远程主机发起向移动主机的连接时,需要进行端口映射才能实现。

基于移动子网的方案解决了远程主机发起连接的寻址问题,与 Internet 节点可以实现透明的相互访问,网关节点需要对所有移动节点进行路由代理。该方案缺点是每个移动节点需要占用一个全局可路由 IP 地址。

单网关下两种方案都只适用于移动节点在 MANET 范围内的移动,未考虑大范围的漫游,都存在网关瓶颈和移动范围有限的问题。而移动子网的方案下移动节点具有独立的 IP 地址,结合移动 IP 技术可支持漫游到其他互联的 MANET 子网。两种方案的比较见表 1。

表 1 两种单网关互联方案比较

对比方案	基于 NAT 的 互联方案	基于移动子网 的互联方案
网关功能	代理服务	路由服务
IP 地址	不占用全局 IP 地址	占用全局 IP 地址
漫游支持	不支持	支持
双向访问	需要端口映射	透明双向互访
组播	基于 NAT 的专用子网结构为 互联的组播带来复杂性	移动节点具有全局独立 IP, 实现组播相对简单

3 多网关互联

3.1 基于移动 IP 的互联

当存在多个 MANET 子网或多个网关的情况下,移动节点移动时可能接入不同 MANET 子网,或者选择不同路由连接不同的网关,即网关的切换。在移动子网互联方案的基础上,引入移动 IP 技术,MANET 中的移动节点就可以在不改变自身 IP 地址的情况下,自由移动、加入或离开网络,并在不同的网关下进行切换。当有数据发送给漫游到外地网络的移动节点时,数据由本地代理 HA(网关)通过隧道技术转发到外地代理 FA(网关),经由外地代理转发到目的节点。文献 [4,5] 是基于移动 IP 的互联方案,利用移动 IP 与 AODV 路由协议结合实现 MANET 与 Internet 的互联。拓扑结构见图 2。

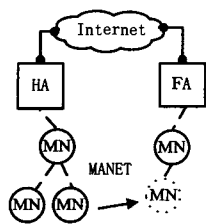


图 2 基于移动 IP 的互联

在基于移动 IP 的接入方案中,同一 MANET 网络下移动节点的 IP 地址不要求前缀相同(可能存在漫游的移动节点),因此网关不能直接根据 IP 地址判断节点是移动节点还是 Internet 节点,甚至在移动节点没有接入 Internet 的需求时,由于自组网络的多跳性,网关可能不能感知该移动节点的存在。这种方案带来了新的问题,当移动节点需要发送数据时,不能判断目的节点是在 MANET 子网中还是在 Internet 中,因此必须在移动子网中洪泛路由请求寻找目的节点,同时向网关询问是否存在目的节点路由信息。若在移动子网中找到目的节点路由,则直接通过自组路由协议建立路由发送数据;若未找到,则判断目的节点在 Internet 上,将数据发向网关,并经由网关将数据转发到 Internet。

3.2 基于移动中心代理的互联

文献 [6] 提出了一种基于移动中心代理的方案(图 3)。

该方案是在基于移动 IP 的方案基础上发展而来,目标是保证 MANET 网络整体移动时的自组织性。该方案的核心思想是,视 MANET 为 Internet 的一个移动无线子网,通过某种方式推选出该无线子网的虚拟中心 CA,并由此中心代表

整个 MANET 作为移动 IP 协议的“一跳”节点。MANET 网络中的移动节点都经由移动中心代理 CA 经本地代理 HA(或外地代理 FA)来接入 Internet。这样,HA(或 FA)逻辑上不需要成为 MANET 的成员,不需要运行 MANET 路由协议来维护移动子网路由,只运行移动 IP 协议,保证移动中心代理 CA 的接入,这样可减少需要接入 Internet 的移动节点向网关发起注册及绑定等过程的开销。

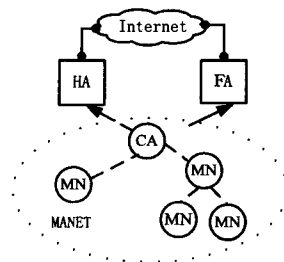


图 3 基于移动中心代理的互联

该方案的特点是可以保证 MANET 的自组性和整体移动性,可减少网关的复杂性,适合具有不同内部路由协议的多个 MANET 同时接入,对传统的移动 IP 协议改动小。

但是,这种方案存在的缺点也比较明显:

(1) 移动节点只通过 CA 进行互联,CA 中转理想带宽为网关无线接口的 50%,成为互联瓶颈;

(2) CA 推选开销大,移动节点寻址复杂;

(3) 需要两个网关间有公共覆盖区域,否则切换时只能重新推选 CA;

(4) 不支持多网关负载均衡。

综合以上几点来看,基于移动中心代理的方案降低了网关节点的复杂性,对于 MANET 内的移动节点并没有降低要求。对 MANET 的整体移动性考虑较多,而对互联的性能考虑较少。

3.3 基于有线中心代理的互联

移动 IP 是为了全局互连而设计的,有效地解决了移动节点的漫游问题,但是其对本地互连支持不够。在多个网关实现互联的情况下,若规模较大移动节点属于同一组织,在同一场景下应用,采用多网关互联方式可以提高网络连通性,并可以实现负载均衡。若使用基于移动 IP 互联的方案,移动节点在多个网关下切换也产生了路由上的复杂性,例如切换引入的隧道。

文献 [7] 引入了一个网关控制器(GWC)来解决路由上的问题,网关控制器兼做本地代理 HA,通过有线链路与多个网关连接,作为总的 Internet 接入点。这样,自组网内的多个网关可使用相同的地址前缀,与本地移动节点处于同一子网内。在这种框架下,当移动节点在不同网关之间切换时向网关进行注册,而网关则将其注册信息向网关控制器进行登记。这样,来自 Internet 的信息经网关控制器直接向目的节点对应的网关分发,在切换频繁时,避免了网关之间的隧道聚集和路由复杂性。

基于有线中心代理的方案同样支持移动 IP 技术。当有移动节点移动到其他 MANET 网络时,网关控制器成为其本地代理(HA),切换到外地代理后,来自 Internet 的数据由网关控制器经隧道转发到外地代理,实现节点的全局漫游。

当存在 IP 地址不足、难以满足移动节点数量时,若移动节点没有漫游到其他网络需要,也可以在 GWC 上设置

NAT,移动子网即可利用 GWC 的已有 IP 地址实现互联。

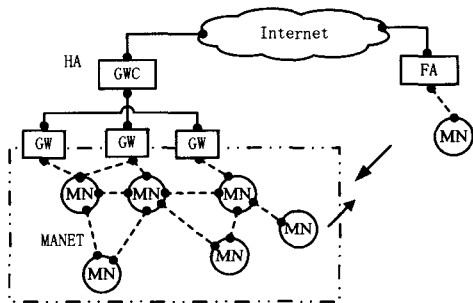


图 4 基于有线中心代理的互联方案

3.4 多网关互联下的组播

当多网关进行互联时,使用 MAODV 与 MOSPF 组播协议结合的方案会出现新的问题。因为二者都是基于树的组播路由协议,任何两个子网间只能有一个通道,在多网关互联时对网关的选择会出现非最优路由等问题。而当 MANET 出现网络分割时,有线网络中的节点会选择—个网关来加入组播域,而在 MANET 中该网关可能与发起组播的移动节点不可达,而发起组播的移动节点在路由上经由其他网关连接有有线网络中的节点是可达的。

为了克服这种基于树的协议结合的组播方案,一种专门为 MANET 设计的基于 mesh 的组播路由协议 MMARP (Multicast MANET Routing Protocol)^[8,9] 被提出,该协议具有避免数据重复转发和环路的机制,与标准 IP 组播模型兼容并支持 IGMP,因此接入一个有线网络的时候允许有线网络节点加入组播通信。其功能是在 MANET 域内实现组播,并使用 IGMP 协议与 Internet 进行交互,因此不需要对有线网络中使用的组播协议进行修改,也不关心有线网络使用何种组播协议。移动节点将按照标准 IP 组播模型来加入或退出组,作为源节点时可直接向组播组发送数据,作为接收者时使用 IGMP 实现加入。

MMARP 通过 Multicast Internet Gateways (MIG) 来实现与组播路由器的交互。MIG 是移动节点中与固定网络只有 1 跳距离的移动节点,与普通移动节点不同的是 MIG 负责通知 Internet 组播路由器,告知 Internet 组播组有 MANET 成员想加入。这种机制允许 MMARP 与任意有线组播路由协同工作,并对 Internet 组播协议屏蔽了 MMARP 的操作。

MMARP 是一种 MANET 组播路由协议,在多网关互联下的应用,只跟网络的物理拓扑结构相关,因此在基于移动 IP 的方案下和基于移动中心代理的方案下是相同的,网关 (HA 或 FA) 的一跳邻居成为 MIG,而网关必须提供 Internet 的组播路由服务,否则 MIG 无法通过 IGMP 消息建立与有线网络的组播通道。而在基于有线中心代理的方案下,MMARP 的应用则需要 GWC 和 GW 都提供组播路由服务,或者改为由 GW 向 GWC 发出 IGMP 进行组播路由的建立(需要修改协议)。当有线网络中使用基于树的组播协议时,由于多个网关通向有线网络会存在冗余路径,因此同样需要通过组播数据包的序列号来检测是否重复包,避免重复转发。

与现有大部分 MANET 组播协议相同,MMARP 并不是一种可靠组播的路由协议,移动节点在 MANET 网络下链路失效时使用的是局部修复的办法,当节点移动到其他 MANET 网络中时,只能采用重新加入(或叫远程加入)的方法来保持组播,可靠性及稳定性都较差。因此,现提出的组播算法

或协议都还存在着不足,还有待研究和改进。

3.5 多网关互联方案的比较

移动 IP 的引入使移动节点可以在多个网关下切换,解决了移动漫游的问题,且多网关下可以采用一定的网关优选策略实现负载均衡,使局部瓶颈问题的解决成为可能。而基于移动中心代理的方案可以视为可漫游的单网关互联方案,瓶颈问题比较严重,优点是对于移动子网的整体移动性支持较好。而基于有线中心代理的方案则较为全面地解决了本地的多网关互联下的瓶颈及路由复杂性问题,并支持全局的漫游,是一种较为完善的解决方案,综合性能容易保证。

组播方面,多网关进行互联时,前两种方案的物理拓扑结构可直接采用 MMARP 组播协议;而基于有线中心代理的拓扑结构下,有线子网的存在增加了组播复杂度,需要 GWC 和每个网关 GW 都具有组播路由器的功能。

几种多网关互联的方案比较如表 2。

表 2 多网关互联的方案比较

项目 \ 方案	移动 IP	移动中心代理	有线中心代理
地址寻址	透明	未说明	透明
网关瓶颈	存在	严重	较轻
负载均衡	支持	不支持	支持
路由复杂性	大	中	小
整体移动性	不支持	支持	不支持
单节点漫游	支持	不支持	支持
组播	MMARP 组播		较复杂

结束语 MANET 与 Internet 的互联技术是一个近年来受到关注的新的研究焦点,目前还处于发展阶段。通过对当前已提出的解决方案的对比分析,我们认为各种互联方案有其不同的适用场景。基于 NAT 的互联方案实现最为简单,不需要占用全局 IP 地址,适用于小范围内的移动 MANET 子网接入 Internet。基于移动子网的方案需要分配全局 IP 地址。支持在多个网关间漫游的基于移动 IP 的互联方案,保证了移动节点可以移动到其他接入 Internet 的 MANET 子网。基于移动中心代理的方案支持 MANET 的整体切换,但不支持个别节点单独切换,适用于移动用户群整体移动的场所,整体移动性好。当移动节点规模较大时(例如体育场馆组织大型活动),基于有线中心代理的互联方案,可布置多个处于同一子网下的网关,通过配置网关数量来保证有足够的互联带宽,并支持移动节点漫游到其他网络。

以上各种互联方案的比较仅定性分析了互联互通问题,未涉及定量分析互联的实际性能开销问题,仍然存在许多方面需要进行研究。我们认为以下几方面将是未来互联研究的热点:

(1)多种方式的 MANET 接入方法研究。本文介绍的方法主要是采用有线网关主机连接两种网络的方式。为了提高移动用户的灵活性及随时随地接入的需求,未来的研究应考虑其他的接入方式,如利用 WLAN、Bluetooth 或 GPRS 等移动网关接入方式下的互联。

(2)移动节点的地址分配和管理研究。不是所有移动节点都有接入互联网的需求,因此不一定需要长期使用全局路由地址。当有接入需求时,可能需要临时分配一个 IP 地址。这会带来一些问题,例如节点移动到其他 MANET 子网时,继续占用原来子网地址,可能导致网络分割。此时原来子网不能将该地址分配使用,另外还有内部节点与互联节点间的

自动分配地址冲突问题。

(3) 互联时的 TCP 性能研究。TCP 流在 MANET 中的性能与在 Internet 中的表现是截然不同的, 在与 Internet 互联时性能恶化严重^[10]。一方面拓扑的动态变化引起的丢包和重传导致了性能恶化, 另一方面拥塞控制窗口的大小在公平性与吞吐量之间很难均衡。文献[11, 12]提出了一些改善性能的方法, 对公平性及吞吐量有一定改善, 但还存在大量需要解决的难题。

(4) 混合网络的组播技术研究。MANET 中的组播技术是极其重要的功能之一, 与 Internet 互联状态下的组播协议互连和可靠组播尚无完善解决方案, 还需要进一步进行研究和改进。

(5) 网关优化配置研究。当节点规模较大、网关较多时, 优化网关位置配置成为关键问题, 需要研究如何减少或避免网关节点成为瓶颈, 把有限的带宽留给互联的数据转发。

此外, 服务质量(QoS)和安全性等问题都是自组网研究所普遍关注的, 也会在互联研究中受到关注和研究。

参 考 文 献

- [1] Engenstad P, Egeland G, Thanh D V. Analysis of NAT Based Internet Connectivity for Multi-Homed On-Demand Ad Hoc Networks//Proc. of Communication Networks and Distributed Systems Modeling and Simulation (CNDS 2004). January 2004
- [2] Jaewook H, Haeryong L, Jeehyeon N A, et al. Gateway Discovery and Routing in Ad Hoc Networks with NAT-based Internet Connectivity. IEEE, ETATS-UNIS. Piscataway, New

Jersey, 2004

- [3] McGee J, Karir M, Baras J S. Implementing Ad Hoc to Terrestrial Network Gateways. Wired/Wireless Internet Communications DOI 10. 1007/b95454, 2004
- [4] Sun Y, Belding-Royer E M, Perkins C E. Internet Connectivity for Mobile Ad Hoc Networks[J]. International Journal of Wireless Information Networks, 2002, 9(2)
- [5] Jonsson U, Alriksson F, Larsson T, et al. MIPMANET - mobile IP for mobile ad hoc networks [A]//Proc. MobiHOC2002 [C]. Boston, MA, USA, IEEE, 2000; 75-85
- [6] 姚尹雄, 王豪行. 一种基于中心代理节点的移动 Ad-Hoc 网络接入方法. 通信学报, 2001, 35(12): 13-16
- [7] 张凯捷, 向勇, 史美林. 移动自组网与 Internet 的多网关互连. 清华大学学报, 2007(1)
- [8] Ruiz P M, Gomez-Skarmeta A F, Groves I. The MMARP protocol for efficient support of standard ip multicast in mobile ad hoc access networks//Proceedings of the IST Mobile and Wireless Communications Summit 2003. Aveiro, Portugal, June 2003; 478-482
- [9] Ruiz P M, Galera F J, Jelger C, et al. Efficient Multicast Routing in Wireless Mesh Networks Connected to Internet//ACM International Conference Proceeding Series. vol. 138, 2006
- [10] Xu Kaixin, Bae Sang, Sungwook L, et al. TCP behavior across multihop wireless networks and the wired internet // WoW-MoM'02. September 2002
- [11] Yang Luqing, Seah W K G, Yin Qinghe. Improving fairness among TCP flows crossing wireless ad hoc and wired networks//MobiHoc'03. June 2003
- [12] ElRakabawy S M, Klemm A, Lindemann C. MANETs-Gateway adaptive pacing for TCP across multihop wireless networks and the Internet//MSWiM'06. October 2006

(上接第 8 页)

当然, 由于采用了分级互连的方法, SPIN 中的网络延迟将会比直接采用交叉开关要大, 但是这种方法将有效地降低片上网络所需的芯片面积和功耗。

结束语 目前, 随着处理器技术的深入发展, 片上网络的研究也不断走向深入。未来的片上网络, 应该是面向几十个、几百个节点的、易扩展、高速度、高吞吐量、低开销的。但是, 要想达到这些目标, 目前还存在一些困难。

一个困难来自性能模型。如何评价、量化测量互连结构的性能? 如果说单个的技术指标, 例如延迟、带宽、吞吐量等等, 早就有成熟的方法了, 但是如果把所有的因素都考虑进来呢? 特别是, 当我们考察某一种互连结构时, 我们需要的是整体性能, 那么如何对各个技术指标进行权衡? 还有, 随着技术的发展, 新的技术指标或者新的影响性能的因素是哪些? 如何衡量? 如何取舍?

另一个困难来自应用模型。虽然说用户对提高处理器性能的要求总是无止境的, 但是, 目前似乎很难找到更多的能用于几百个甚至上千个处理器核的应用。当任务被分配到几百个、上千个处理器核进行处理以后, 获得的性能似乎并不像我们期望的那样好, 甚至还不如不用那么多处理器核。应用模型的困难其实也影响了人们对于更大规模处理器结构研究的开展。

当然, 不论如何困难, 对于处理器技术的探索仍然在继续, 对于片上多处理器内部互连技术的研究也还在继续着。也许, 在不久的将来, 人们会看到更多更好的技术, 给社会带来更多便利。

参 考 文 献

- [1] Pande P P, et al. Performance Evaluation and Design Trade-offs for Network-on Chip Interconnect Architectures. IEEE Transactions on Computers, 2005, 54(8): 1025-1040
- [2] Ye T T, et al. Packetization and Routing Analysis of On-chip Multiprocessor Networks. Journal of Systems Architecture, 2004, 50(2): 81-104
- [3] Kahle J A, et al. Introduction to the cell multiprocessor. IBM J. RES. & DEV, 2005, 49(4/5): 589-604
- [4] Manjikian N. Prototyping a Hierarchical Ring Interconnect for System-on-Chip Multiprocessor//The 2nd Annual IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems (NEWCAS 2004). 2004; 85-88
- [5] Karim F, et al. On-chip Communication Architecture for OC-768 Network Processors//Proceedings of 38th Design Automation Conference. June 2001; 678-683
- [6] Shrout R. Intel's 80 Core Terascale Chip Explored; 4GHz clocks and more. <http://www.pcper.com>, Feb. 2007
- [7] Dally W, et al. Route Packets, Not Wires; On-Chip Interconnection Networks//Proceedings of the 38th Design Automation Conference. June 2001; 684-689
- [8] Kumar S, et al. A network on chip architecture and design methodology//Proceedings of IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI. April 2002; 105-112
- [9] McDonald R, et al. TRIPS Processor Reference Manual. Version 1. 2. March 2005; 10
- [10] Guerrier P, et al. A Generic Architecture for On-chip Packet-switched Interconnections//Proceedings of Design Automation and Test in Europe. March 2000; 250-255
- [11] Zhang Ying Ping, et al. A Study of the On-chip Interconnection Network for the IBM Cyclops64 Multi-core Architecture//20th International Parallel and Distributed Processing Symposium, 2006 (IPDPS 2006). April 2006