

异构无线网络中的 Ad Hoc 路由及 QoS 分析

裴雪兵^{1,3} 王青萍² 朱光喜³

(中国舰船研究设计中心 武汉 430064)¹ (湖北第二师范学院物理与电子信息工程系 武汉 430205)²
(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)³

摘要 首先分析了纯 Ad Hoc 网络环境下具有 QoS 保证的几种典型路由协议,然后阐述了异构无线网络的体系架构以及异构网络环境下的 Ad Hoc 路由,包括基于节点位置信息的路由分级路由、提高网络容量的多跳中继路由、实现网络负载均衡的路由,以及跨层路由协议。最后,总结了在异构网络环境下提出的基于 Ad Hoc 网络多跳中继路由的负载均衡策略的研究工作,分析了仿真结果。

关键词 异构网络,自组织网络,QoS 路由,负载均衡

中图分类号 TP393.04 **文献标识码** A

Analysis on Ad Hoc Routing and QoS in Heterogeneous Wireless Networks

PEI Xue-bing^{1,3} WANG Qing-ping² ZHU Guang-xi³

(China Ship Development and Design Center, Wuhan 430064, China)¹

(Physics & electronics Department, Hubei University of Education, Wuhan 430205, China)²

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)³

Abstract We firstly gave a detailed analysis on the QoS routing protocols of ad hoc network. Then, the architecture of heterogeneous wireless networks and ad hoc multi-hop routing were illustrated in the environment of heterogeneous networks, including the position-based routing, the hierarchy routing, the multi-hop relaying routing to raise the network capacity, the routing for load balancing, and the cross-layer routing protocols. Finally, we summarized our previous research works about our proposed load balancing strategies based on the ad hoc multi-hop routing in heterogeneous wireless networks, and analyzed the simulation results.

Keywords Heterogeneous networks, Ad Hoc network, Quality of service routing, Load balancing

随着无线业务的迅速增长,各种网络与标准相继出现,包括 Bluetooth, Cellular, WLAN, WIMAX 等,每种网络针对特定业务提供服务,各有优势和特长。下一代无线网络将是各种异构网络融合的统一平台,支持用户在网络间的平滑切换,给用户提多级 QoS 保证。网络系统架构如图 1 所示。

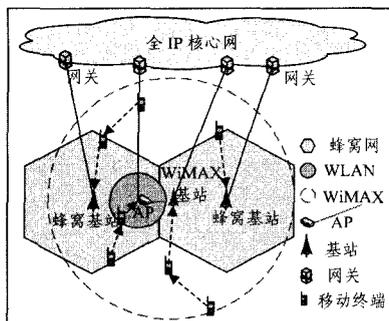


图 1 支持多跳中继的异构网络架构

在异构网络环境下,若要借助各种网络节点利用多跳(multi-hop)中继的方式随时随地接入核心网,来扩展网络覆

盖范围,提高网络容量,以及实现网络间的负载均衡等,则需要高效稳健且具有 QoS 保证的路由协议。这种路由协议需要较少的终端消耗、高带宽,具有良好的稳健性和健壮性,能够支持各种异构网络节点的自主接入。由于这种异构 Ad Hoc 网络中每个移动节点具有不同的无线接口、电池能量、通信协议、管理策略等,因此异构网络环境下的 Ad Hoc 路由及业务 QoS 保证面临着极大的挑战。

1 纯 Ad Hoc 网络路由协议

大部分纯 Ad Hoc 网络路由协议的研究都集中于同构网络模型,即网络中的每个节点具有相同的能量、带宽、处理能力、传输频率、通信范围。纯 Ad Hoc 网络路由协议根据各移动节点是否缓存到达各个目的节点的路由分为表驱动路由协议和按需驱动路由协议。表驱动路由协议又称为先应式路由协议,它要求每个节点保存到达所有目的节点的路由信息。网络中节点通过周期性地交换信息来确保路由能在网络拓扑结构变化后仍然有效。无线网络的动态拓扑特性使得这种路由信息的更新和维护要花费很大的开销。按需驱动路由协议

到稿日期:2010-02-05 返修日期:2010-04-30 本文受国家 863“十一五”专项课题(2009AA011803),国家自然科学基金(60702039,60496315)资助。

裴雪兵(1980-),男,博士,工程师,主要研究方向为无线网络、认知无线电、OFDM 等,E-mail:zjupeixb@gmail.com;王青萍(1980-),女,硕士生,讲师,主要研究方向为无线网络等;朱光喜(1945-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为图像处理等。

又称反应式路由协议,它的每个节点不需要持续地维护到达目的节点的路由信息,只有当需要向目的节点发送数据包时,源节点才在网络中发出路由请求,建立到达目的节点的路由,然后进行数据传输。

1.1 反应式路由

典型的按需路由协议 AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector),DSR(Dynamic Source Routing)都是平面式路由协议^[1,2]。AODV 路由协议由路由发现、路由维护两部分构成,它的路由发现机制与 DSR 大体相同。当需要发送数据时,如果现有路由表中没有缓存到达目的节点的路由,源节点就广播一个路由请求消息 RREQ,该路由请求消息携带的主要信息字段如下:

source-address	broadcast-ID	source-sequence	destination-address	destination-sequence	hop-counts
----------------	--------------	-----------------	---------------------	----------------------	------------

中间节点收到 RREQ 消息时,判别自己是否是目的节点:如果是目的节点,则回复路由响应消息 RREP;否则根据(source-address, broadcast-ID)来判断是否重复收到过该请求消息,如果收到,则丢弃该 RREQ 消息而不作处理,否则就记录相应信息,跳数计数器加 1,并向邻居节点转发该路由请求包。当 RREQ 消息到达目的节点后,各个中继节点就记录了到达源节点的反向路由;而当 RREP 消息到达源节点后,各个中继节点就建立了到达目的节点的前向路由。算法描述如下:

```

源节点发送 RREQ 消息;
If 中继节点是目的节点
    发送 RREP 消息给源节点;
Else
    If 中继节点重复收到过该 RREQ 消息
        丢弃该 RREQ,不转发;
    Else
        记录相应信息,建立反向路由;
        转发该 RREQ;
    Endif
Endif
源节点收到 RREP 消息,建立前向路由;

```

AODV 的路由维护过程是:当节点移动使得链路断开时,该节点主动向“上游”节点发送路由错误消息 RERR,收到 RERR 消息的节点将相应路由跳数置为 ∞ 。这样上游节点依次删除它们路由表中的无效路由,直到源节点。当再次需要发送数据包而又没有到达目的节点的路由时,则再次发起一个路由搜索过程,以重新建立路由。AODV 路协议中的每个节点维护一张路由表,但是并不维护到达所有目的节点的路由。每个节点周期性地广播 HELLO 消息,以收集整个网络的拓扑结构变化来更新路由表。

DSR 协议的路由发现及维护过程都与 AODV 类似,两者的区别在于:DSR 节点发送报文时,在数据包头部携带到达目的节点的完整的路由信息,而 AODV 则只携带目的节点的路由信息,在转发数据包时需要根据中继节点存储的路由表来寻找下一跳。

1.2 先应式路由

目的序列距离矢量路由协议(DSDV, Destination Sequence Distance Vector)是在常规的 Internet 路由协议 RIP 的基础上改进的^[3],它的每个移动节点都需要维护一个路由表,

只使用序列号最高的路由。如果两个路由具有相同的序列号,那么将使用跳数最短的路由。该序列号机制解决了“路由环路”和“计算到无穷”的问题。路由更新有两种方式:一种是全部更新,即更新消息中包括整个路由表,主要应用于网络变化较快的情况;另一种是部分更新,即更新消息中仅包含部分变化的路由,通常适用于网络变化较慢的情况。WRP(Wireless Routing Protocol)也是一种距离向量路由协议。每个节点维护 4 张路由信息表:距离表、路由表、链路开销表、信息重传节点列表。每个节点通过相邻节点的状态变化调整路由信息,并通知相邻节点,在收到邻节点的路由信息后,对路由表进行更新。GSR(Global State Routing)是链路状态路由协议。每个节点维护 4 张表格:存储邻居列表、拓扑表、下一跳表、距离表。如果邻居节点的链路状态改变,则立即更新信息。

先应式路由协议具有不适合动态拓扑的固有弊端。当节点移动较快,导致网络拓扑更新频繁时,它的路由开销很大,而路由效率很低,缺乏稳健性。一些混合式路由协议综合了按需路由协议及表驱动路由协议的优点,例如 ZRP(Zone Routing Protocols),LANMAR 等。这种混合式路由协议利用集群结构,集群又称作域(Zone)。每个节点在区域内采用表驱动路由协议,而区域外的节点则采用按需路由机制寻找路由,通过边界节点的路由发现过程来完成源节点和目的节点的路由建立。由于拓扑更新过程仅在较小的区域内进行,从而减少了系统开销,降低了路由建立过程的时延。但是边界节点可能成为整个网络性能的瓶颈。

1.3 启发式路由

Ad Hoc 网络的动态性使得给各种类型的业务提供 QoS 保证面临极大的挑战。不少学者通过模拟自然界生物进化过程提出了一些有影响的启发式 QoS 路由协议,例如遗传算法、蚁群算法^[4]、鱼眼状态路由协议。

蚁群算法的路由发现过程与 AODV 类似,同时具有某些生物特征。例如 Ant-AODV 算法借鉴蚁群算法中蚂蚁独立发现路由的方式,当路由缓存表中没有到达目的节点的路由时,源节点发出一个 FANT(Forward Ant)数据包进行路由探索($S \rightarrow D$),目的节点 D 回复数据包 BANT(Backword Ant),建立前向路由($D \rightarrow S$)。

在路由缓存表中,维护一个路由信息参数:信息素。它具有维护邻居节点的链路状态功能,两个相邻节点间的信息素用 $\varphi(i, j)$ 表示。当 FANT 数据包经过某个链路时,该链路上的信息素增加,使得 $\varphi(i, j)$ 会增加 $\Delta\psi$:

$$\varphi(i, j) = \varphi_i + \Delta\psi$$

同时 $\varphi(i, j)$ 是一个随时间变化的量,它具有挥发因子 $q \in (0, 1]$, 即

$$\varphi_i(t + \tau) = (1 - q)\varphi_i(t)$$

随着信息素的挥发,链路逐渐断开。假设下一跳选择节点 j 的概率为:

$$P(i, j) = \frac{\varphi(i, j)}{\sum_{j \in N} \varphi(i, j)}$$

式中, N 为邻居节点集。根据信息素门限值或 $P(i, j)$ 门限值,可以定期更新和维护路由表项,删除失效路由。

2 异构网络中的 Ad Hoc 路由及 QoS

未来的无线网络是各种无线接入、多种业务相互融合的

异构型混合网络,能够支持蜂窝网、WLAN、WIMAX、Bluetooth 等各种异构混杂网络的自主接入。在终端设备多个接口的支持下,用户可以在不同网络系统间进行无缝切换,享有系统提供的高速率、低时延多媒体服务。而各种无线网络通信的缺点,例如容量受限的 CDMA 系统、远离基站的终端过大的发射功率,会对其他终端产生同频或邻频干扰,使 WLAN 系统大量用户竞争有限带宽,使 WIMAX 等各种无线网络通信都有通信盲区等,这些可以通过自组织网络(Ad Hoc)多跳的方式加以克服。将自组织网络的组网方式引入异构混杂网络,能够扩展各种网络的通信覆盖范围,提高频谱、能量等各种网络资源的利用率,扩大系统容量。因此,在异构网络环境下的多跳路由协议及 QoS 分析越来越成为研究的热点。这使得整个异构网络的体系结构、路由协议、信道接入及资源分配技术都需要重新考虑,以支持泛在及多跳的无线接入。

2.1 异构网络体系架构

为了能够支持各种异构网络节点(包括蓝牙、蜂窝网、WLAN、WIMAX、MANET 等)的自主接入,在各种网络之间进行平滑的切换,整个异构网络的体系结构、路由技术、各种信道接入协议都需要重新设计,以支持泛在的无线接入。针对未来异构的终端和接入网技术,已经提出很多异构混杂网络的体系架构,这些架构具有扩大系统的覆盖范围、提高系统容量、实现基站之间的负载均衡、降低终端发射功率、提高用户的下行数据率等不同设计目标。文献[5]总结了一个综合蜂窝网、WLAN、MANET 3 种网络的体系架构,并概括了移动终端 10 种连接方式:

- (1) A→BS→B;
- (2) C→AP→D;
- (3) E→AP→CN→AP→F;
- (4) G→MANET→H;
- (5) I→MANET→BS→A;
- (6) J→MANET→AP→D;
- (7) K→MANET→AP→MANET→L;
- (8) M→MANET→AP→CN→AP→MANET→N;
- (9) O→BS→AP→P;
- (10) Q→MANET→BS→AP→R。

其中,字母 A—R 表示用户终端,BS 表示蜂窝网基站,AP 表示 WLAN 的接入点,MANET 表示多跳中继。1—4 种连接方式是单一网络类型之间的连接,5—9 种连接方式是在两种混杂网络之间的连接,而只有第 10 种连接是 3 种网络混合的连接方式。

其他学者提出的一些异构混杂网络体系架构,如 ICAR^[6,7],UCAN^[8],MADF^[9],HWN^[10],MCN^[11]等,只是从上述 10 种连接方式中的某一个方面对网络进行优化,支持上述 10 种连接方式中的一种或几种;各种异构节点之间的连接通常是基于网关节点,或者基础设施(BS/AP)选择操作模式执行集中控制式的路由算法,或者是基于 MANET 路由协议。但是文献[5]只阐述了各层协议栈特点、已有体系架构的某些局限性以及一些需要解决的课题,并没有讨论具体的算法和路由策略。

2.2 基于位置信息的路由

在同构网络环境下,存在很多基于位置信息的路由协议

LAR^[12],GPSR^[13]及 DREAM^[14],但是这些路由协议都没有充分利用各种异构网络以及异构节点之间互相辅助的功能。文献[15]阐述了一种在 CAMA 异构网架构下蜂窝网辅助 MANET 的基于位置信息的路由协议 MSGRP。

MSGRP 路由机制中,所有移动终端通过 GPS 系统确定自己的位置信息并通过基站(BS)发往 CAMA 代理,CAMA 代理维护每个终端的邻居节点表格。这个表格包括邻居节点 ID、位置、距离等信息。当有节点 S 需要发送数据时,该节点就向 CAMA 发送路由请求。CAMA 寻找 S 的 n 个最近邻居节点,并对这 n 个邻居节点中的每个节点再寻找 n 个最近邻居节点。一直重复下去,直到包括目的节点 D,这样可能得到 n 条路由。图 2 中可以得到两条路由:

S→B→H→G→T
S→C→E→I→T

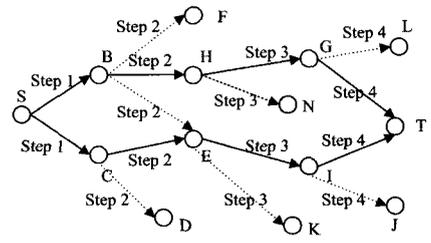


图 2 $n=2$ 时 MSGRP 路由

CAMA 代理依据跳数及整个路由中的所有邻居节点总数来对 n 条路由计算优先级,然后将优先级最高的路由发送回复到源节点 S。如果源节点 S 在规定的时间内没有收到回复,则重新向 CAMA 代理发出路由请求。如果 CAMA 没有发现节点的位置更新,则回复另一条不包括坏链路的路由给源节点,否则重新计算 n 条路由。源节点在收到路由后,将整条路由中的中间节点附在数据包头部,中间节点根据数据包头部选择下一跳转发数据。

2.3 分级路由

Ad Hoc 路由协议也可以根据各个移动节点在网络中是否具有同样的路由能力分为平面式(flat)和分级式(hierarchical)^[16-20]路由。在平面式路由中,各个移动节点是同等地位的,具备相同的路由能力;而在分级式路由协议中,能量大或者带宽高的移动节点可能承担着骨干节点的作用,它负责将周围小范围内的源节点发出的数据包转发到更远的骨干节点来实现网络通信,使该协议可以支持更大规模的移动 Ad Hoc 网络。

在分级式路由协议中,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。簇头之间的通信需要借助于网关或分布式网关完成,簇头和网关形成了高一级的网络,称为虚拟骨干网。分级式路由协议可以根据簇头选择依据的不同而分为物理分级路由和逻辑分级路由。前者是依据节点的拓扑位置信息来选择簇头的;而后者是依据节点的能量、带宽或者无线资源的高效利用来选择簇头。

在文献[20]中,Huang 在异构网络场景下提出的分布式负载转移策略中,将整个网络模型中的移动节点分两层:低层节点支持 802.11 协议,以多跳中继方式通信;而高层节点则支持 802.11、蜂窝网等各种接入模式,具有不同的带宽和时延,这些高层节点充当低层节点的网关,只有网关即高层节点才能够接入基站或 AP 等基础设施。

2.4 提高蜂窝网容量的多跳中继路由

在 UCAN 架构^[8] (如图 3 所示)下,每个移动终端有两个无线接口:HDR,802.11b。其基本思想是使用 802.11b 来提高 3G 大范围蜂窝网系统容量。当 3G 用户带宽低于一定门限(如 38.6kbps)时,就发出路由请求,寻找一个下行链路具有更高带宽的代理节点,代理节点向 BS 发出一个代理申请消息(proxy application message),这样 BS 就找到一条通过多跳中继到达目的节点的代理路由。在下一个调度时隙就通过高带宽的代理节点将数据包多跳中继到目的节点,取代 BS 直接到达目的节点的下行链路。

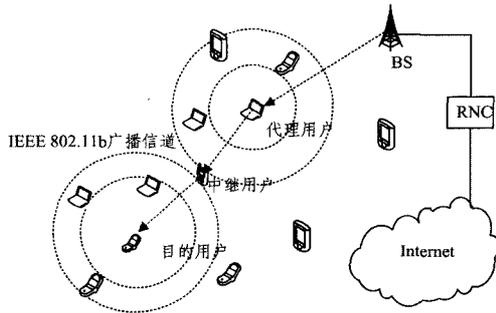


图 3 UCAN 网络架构

文中提出了两种代理路由的发现算法:贪婪先验式和按需反应式。贪婪先验式中的代理发现过程要求每个节点维护所有邻居节点的下行链路带宽表格。中继节点收到路由请求消息(RTREQ)并发现周围没有更高带宽的邻居节点时,才向 BS 发出代理申请消息。这种算法的网络开销比较大,本文不详细介绍。按需反应式算法中只有在需要时才洪泛 RTREQ 消息,中继节点在收到最新的 RTREQ 后,将自己的带宽和 RTREQ 数据包中的带宽比较。如果更高,就向 BS 发出一个代理申请消息,同时将自身带宽写入 RTREQ 数据包中并转发到周围邻居节点;否则就只是转发这个 RTREQ 消息到周围的邻居节点而不申请成为代理节点。基站最后比较这些申请消息,首选具有最高序列号(最新)的节点作为代理。如果序列号相同,则选择具有更高带宽或者更短路径的节点作为代理。当链路断开时,BS 重新将数据包直接发到目的节点;如果代理带宽下降,目的节点可以重新发起代理发现过程。RTREQ 在洪泛转发的过程中携带了完整的中继路径来避免路由环,而且可以限制 RTREQ 中继跳数来避免由于信道改变产生的链路震荡现象。

2.5 负载均衡路由

高负载节点往往导致很高的队列时延、高丢包率、低效的功率消耗,因此高效的路由协议应该具有负载均衡策略的功能。在蜂窝网或者 WLAN 小区等同构网络环境下,有两种负载均衡的方式:信道借用^[21]以及负载转移^[22]。它们可能采用中心控制或者分布式的负载均衡机制。

文献^[23]讨论了多径路由算法 LOBAM(基于 OLSR: proactive)用以平衡负载。每个源节点对每个不同的目的节点维护 k 条不同的路由(对应 k 个不同的下一跳)。当中继节点需要转发数据包时,根据目的节点来选择下一跳,而下一跳的选择可以使用 3 种不同的方法 R_LOBAM, C_LOBAM, I_LOBAM 来平衡负载。其中 R_LOBAM 是从 k 个不同的下一跳中随机选择下一跳;C_LOBAM 是轮流循环选择下一跳;而

I_LOBAM 是选择具有最低负载指数的下一跳,其中每个节点的负载指数是由它本身及其邻居节点的业务队列情况计算得到的。

文献^[24]在路由选择过程中采用节点的媒体竞争信息和业务负载情况作为路由的选择标准,建立一条具有最小竞争时间和负载均衡的路由,以减少源节点和目的节点之间的端到端时延。文中提出的 MCL 算法首先定义了 4 种邻居节点:发射邻居 B、接收邻居 C、收发邻居 D、不相干邻居 E(如图 4 所示)。一个节点的竞争节点包括有接收邻居的邻居节点(如图 4 中 B, C, D)、它的邻居节点的发射邻居节点(如图 5 中 F, H, K, L)。竞争节点的数量与获得信道的的时间以及业务负载情况成正比,因此 MCL 算法将竞争节点的数量作为路由选择的标准。

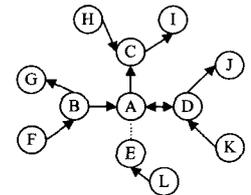
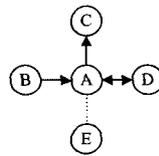


图 4 A 节点的邻居节点 图 5 A 节点的邻居及邻居的邻居

MCL 的路由发现过程与 AODV 相似,只不过在路由请求包 RREQ 中携带了路径上竞争节点的总数。与 AODV 不同,MCL 算法中只有目的节点才能回复 RREP,中间节点不能回复 RREP。目的节点如果收到路径上竞争节点数更少的 RREQ,将再回复一个 RREP 给源节点。源节点收到后,将重新选择路由,以平衡网络的负载,防止数据包集中在部分中继节点上。节点使用 MAC 协议的反馈信号来检测链路是否断开。如果断链,中间节点首先尽力修复路由,如果不能修复则发送 RERR 通知源节点重新寻找路由。

Huang 在异构网络场景下提出分布式负载转移策略^[20],它通过网关节点来决定将哪些低层节点转移到周围某个低负载的网关节点来实现负载均衡。该分布式负载转移策略存在以下缺点:网关节点很可能成为整个网络性能的瓶颈;所有低层节点总是以 802.11 方式通信,无法适应异构网络场景;低层节点至少得两跳以上(必须经过网关转发)才能接入基站,导致较大时延。

2.6 跨层路由

网络层能够利用底层传递过来的信息设计更好的路由算法,从而提高系统的性能,例如 MAC 层带宽、干扰、拥塞情况、物理层信道状况等都可以作为选择路由的尺度。

无线信道状况可以作为选择路由的尺度,选择信道好的链路能够减少丢包、误码率,降低传输时延,提高系统吞吐量。而信道状况可以根据物理层反馈的 SNR、接收功率等信息来度量。与信道相关的路由算法性能得到了大量的研究。

文献^[25,26]提出了选择路由的 5 种能量标准,这些能量相关的路由协议的思想都是节省功率,分摊路由数据包的开销,以便延长节点和整个网络的寿命。假设定义一种开销函数 $f_i(x_i)$,表示节点 i 消耗总能量 x_i 所产生的开销,则一条路由由经过 k 跳中继节点所产生的总开销是

$$c_j = \sum_{i=1}^{k-1} f_i(x_i)$$

路由算法的目标函数就是最小化总的 c_j :

Minimize c_j, \forall 路由 j .

将 MAC 层协议记录的一些信息提供给网络层作为路由选择的标准,能够大大减少路由发现和维护过程中的控制开销,为某些业务需求提供带宽和时延等 QoS 保证^[27]。文献[28]定义了 MAC 层利用率。当一个节点需要传输数据时,若信道总是空闲的,则利用率为 0;反之利用率为 1。在一段时间间隔内的平均 MAC 层利用率以及节点的瞬时队列长度可以作为拥塞信息反馈给网络层,从而提出基于拥塞信息的跨层路由算法。

3 路由 QoS 分析与仿真

建立 QoS 路由协议的系统架构及分析模型是非常重要的,不少学者对此做了大量的研究。文献[29]建立了一个 QoS 路由协议架构,它包括 5 个水平层和 1 个垂直层。5 个水平层分别是 MAC 及调度、资源预留、资源管理、动态路由协议、传输层。由于自组织网络的动态拓扑特性,节点之间的状态信息不精确而且变化平凡,导致提供 QoS 路由非常困难且开销很大^[30,32]。文献[33]提出了一种软 QoS 路由,即在建立的路径稳定或者链路没有断开的短暂时间内提供 QoS 路由,以及采取一些自适应技术来满足用户需求。

QoS 路由协议的目标有两个:第一,选择一条有足够资源的路由来满足所有接入用户的 QoS 要求;第二,提高整个网络系统的资源利用率。假定一条链路的状态信息包括时延、带宽、开销,其中时延由传输时延、队列时延、节点处理时延构成,而带宽是指链路剩余最小带宽,则整条路径 $P=i \rightarrow j \rightarrow \dots \rightarrow k \rightarrow l$ 的信息表达式为

$$\begin{aligned} \text{delay}(P) &= \text{delay}(i, j) + \dots + \text{delay}(k, l) \\ \text{bandwidth}(P) &= \min\{\text{bandwidth}(i, j), \dots, \text{bandwidth}(k, l)\} \\ \text{cost}(P) &= \text{cost}(i, j) + \dots + \text{cost}(k, l) \end{aligned}$$

QoS 路由协议的目标就是找到一条可行路径 P , 满足:

$$\begin{aligned} \text{delay}(P) &\leq D \\ \text{bandwidth}(P) &\geq B \end{aligned}$$

使路径开销最小化,且能在网络拓扑变化时维护路由。

我们在蜂窝网络相邻小区之间引入负载均衡策略,然后推广到异构重叠网络场景下。这些负载均衡策略分为两个阶段:第一阶段是呼叫接纳控制阶段,它根据移动终端的位置、本小区及相邻小区的负载状况以及业务转移门限值来决定拒绝还是接纳新的呼叫;第二阶段是将本小区拒绝的呼叫用户,根据就近转移、最佳转移、分布式转移 3 种策略,通过 Ad Hoc 网络多跳路由技术转移到附近的某个轻负载小区。仿真结果如图 6 所示,可以看到提出的适用于异构网络的负载均衡策略能有效地进行流量转移,彻底避免用户呼叫阻塞情况的发生,有效改善异构网络以及同种网络的不同小区之间的负载均衡指数,提高整个异构系统的资源利用率^[34]。

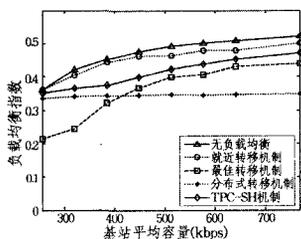


图 6 网络负载均衡指数

我们也分析了蜂窝网、WLAN、WiMax 等异构网络重叠覆盖的热点通信地区的呼叫阻塞概率、吞吐量等网络性能。由于基于全 IP 架构的异构无线网络的融合(例如蜂窝网、WLAN、WiMAX 等)可以使得各网络之间更好地共享无线资源,因此我们提出了两个基于 Ad Hoc 网络 N 跳中继限制路由算法的协作负载均衡策略 MP 及 MLNT,以提高整个异构网络的资源效率。该策略首先根据无线资源管理策略来决定是否接纳一个新呼叫,在重负载情况下根据最小价格转移策略或最轻负载基站及最近业务转移策略来选择特定业务转移到目标基站或 AP,这些业务转移策略考虑了基站负载指数、跳数、业务预测、转移开销等因素。我们还提出一个分析模型用来计算两个不同业务模型下的系统呼叫阻塞概率及吞吐量性能。仿真结果如图 7、图 8 所示。可以看到,提出的负载均衡策略比 HM-MACA 与 HS-TC 策略更能有效地改变非均衡的业务分布,并具有业务转移的预测功能,可限制业务转移的开销,将业务均匀地分布到整个异构无线网络,从而降低呼叫阻塞概率,改善系统吞吐量性能^[35]。

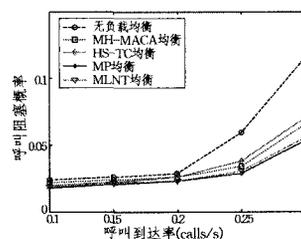


图 7 不同呼叫到达率下的呼叫阻塞概率

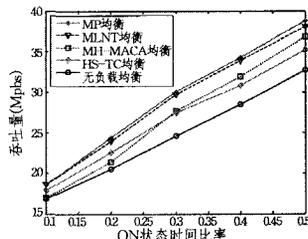


图 8 ON 状态不同时间比率下的吞吐量性能

结束语 本文总结了纯 Ad Hoc 网络的反应式路由、启发式路由协议。然后对异构网络的架构以及异构网络环境下的自组织、多跳中继路由协议进行了全面分析,包括基于位置信息的路由协议、分级路由协议,用于提高蜂窝网容量的多跳中继路由协议、用于实现同构/异构网络负载均衡的路由协议,以及跨层路由协议。最后,本文分析了 Ad Hoc 路由协议的 QoS 性能,并将我们前期关于异构无线网络中基于 Ad Hoc 网络多跳中继路由协议的协作负载均衡策略的研究工作进行了总结。从仿真结果可以看到,我们提出的基于 Ad Hoc 多跳中继的协作负载均衡策略能有效改善网络的负载均衡指数,降低呼叫阻塞概率,提高异构网络系统的吞吐量。

参考文献

- [1] Broch J, Maltz D A, Johnson D, et al. A performance comparison of multihop wireless ad hoc network routing protocols [C]// Proc. MOBICOM'98, Dallas, TX, 1998: 85-97
- [2] Perkins C, Royer E, Das S, et al. Performance comparison of two on-demand routing protocols for Ad Hoc networks [J]. IEEE Personal Communications Magazine, Special Issue on Mobile Ad Hoc Networks, 2001, 8(1): 16-29
- [3] Perkins C E, Bhagwat P. Highly dynamic Destination-sequenced Distance-vector routing (DSDV) for Mobile Computers [C]// Proc. ACM SIGCOMM, August 1994: 234-244
- [4] Marwaha S, Chen Khong T, Srinivasan D. A novel routing protocol using mobile agents and reactive route discovery for ad hoc wireless networks [C]// Proc. IEEE International Conference on

- Networks(ICON). 2002;311-316
- [5] Cavalcanti D, Cordeiro C M, Agrawal D P, et al. Issues in integrating cellular networks, WLANs, and MANETs: A futuristic heterogeneous wireless network [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2005, 12(3): 30-41
- [6] Wu H, Qiao C, De S, et al. Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems; ICAR [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 2001, 19(10): 2105-2115
- [7] Yanmaz E, Tonguz O K. Dynamic Load Balancing and Sharing Performance of Integrated Wireless Networks [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2004, 22(5): 862-872
- [8] Luo H, Ramjee R, Sinha P, et al. UCAN: a unified cellular and Ad-Hoc network architecture [C]// *ACM Proc. on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM)*. San Diego, CA, Sep. 2003; 353-367
- [9] Wu X-X, et al. MADF: Mobile-assisted Data Forwarding for Wireless Data Network [J]. *Journal of Communications and Networks*, 2002, 6(3): 100-109
- [10] Wu Eric Hsiao-kuang, Huang Yi-Zhan, Chiang Jui-hao. Dynamic adaptive routing for heterogeneous wireless network [C]// *Proc. IEEE GLOBECOM*. 2001; 3608-3612
- [11] Lin Y, Hsu Y. Multi-hop Cellular: A New Architecture for Wireless Communications [C]// *Proc. IEEE INFOCOM*. Tel-Aviv, Israel, Mar. 2000; 1273-1282
- [12] Ko Y B, Vaidya N H. Location-aided routing (LAR) in mobile Ad Hoc networks [C]// *Proc. ACM/IEEE MobiCom*. Dallas, TX, Aug. 1998; 66-75
- [13] Karp B, Kung H T. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C]// *Proc. ACM/IEEE MobiCom*. Boston, MA, Aug. 2000; 243-254
- [14] Basagni S, et al. A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM)[C]// *Proc. ACM/IEEE MobiCom*. Dallas, TX, Aug. 1998; 76-84
- [15] Bhargava B, Wu Xiaoxin, Lu Yi, et al. Integrating Heterogeneous Wireless Technologies: A Cellular Aided Mobile Ad Hoc Network (CAMA) [C]// *Proc. ACM Mobile Networks and Applications*. 2004; 393-408
- [16] Xu Kaixin, Gerla M. A Heterogeneous Routing Protocol Based on a New Stable Clustering Scheme [C]// *Proc. MILCOM*. Oct. 2002; 838-843
- [17] Belding-Royer E M. Multi-level hierarchies for scalable Ad Hoc routing [J]. *Wireless Networks*, 2003, 9(5): 461-478
- [18] Chandrashekar K, Morera R, McAuley A, et al. Domain based hierarchical routing for large heterogeneous MANETs [C]// *Proc. IEEE Military Communications Conference (MILCOM'05)*. Oct. 2005; 1284-1290
- [19] Villasenor-Gonzalez L, Ge Y, Lament L. HOLSRL: A hierarchical proactive routing mechanism for mobile Ad Hoc networks [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2005, 43(7): 118-125
- [20] Huang C F, Lee H W, Tseng Y C. A Two-tier Heterogeneous Mobile Ad Hoc Network Architecture and Its Load-balance Routing Problem [C]// *Proc. IEEE VTC*. 2003; 2163-2167
- [21] Jiang H, Rappaport S S, CBWL: A new channel assignment and sharing method for cellular communication systems [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1994, 43(2): 313-322
- [22] Eklundh B. Channel Utilization and Blocking Probability in a Cellular Mobile Telephone System with Directed Retry [J]. *IEEE Transactions on Communications*, 1986, 34(4): 329-337
- [23] Ktari S, Labiod H, Frikha M. Load Balanced Multipath Routing in Mobile Ad hoc Network [C]// *Proc. International Conference on Communication Systems*. Oct. 2006; 1-5
- [24] Bong Chan Kim, Jae Young Lee, Hwang Soo Lee, et al. An Ad-Hoc Routing Protocol with Minimum Contention Time and Load Balancing [C]// *Proc. IEEE GLOBECOM*. Dec. 2003; 1-5
- [25] Singh S, Woo M, Raghavendara C. Power-aware routing in mobile ad hoc networks [C]// *Proc. ACM/IEEE MOBILECOM*. Dallas, 1998; 181-190
- [26] Li Jiageng, Cordes D, Zhang Jingyuan. Power-aware routing protocols in Ad Hoc wireless networks [J]. *IEEE Wireless Communications*, 2005, 12(6): 69-81
- [27] Shakkotai S, Rappaport T, Karlsson P. Cross-layer design for wireless networks [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2003, 41(10): 74-80
- [28] Sankar N Y, Lee R J. Improving Ad Hoc network performance using cross-layer information [C]// *Proc. ICC*. May 2005; 2764-2768
- [29] Aggelou G. On the Performance Analysis of the Minimum-Blocking and Bandwidth-Reallocation Channel-Assignment (MBCA/BRCA) Methods for Quality-of-Service Routing Support in Mobile Multimedia Ad Hoc [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004, 53(3): 770-782
- [30] Zhang Baoxian, Mouftah H T. QoS routing for wireless Ad Hoc networks: Problems, algorithms, and protocols [J]. *IEEE Communications Magazine-Ad Hoc and Sensor Networks Series*, 2005, 43(10): 110-107
- [31] Guérin R, Orda A. QoS Routing in Networks with Inaccurate Information: Theory and Algorithms [J]. *IEEE/ACM Trans. Networking*, 1999, 7(3): 350-364
- [32] Liao W H, Tseng Y C, Shih K P. A TDMA-based bandwidth reservation protocol for QoS routing in a wireless mobile Ad Hoc network [C]// *Proc. IEEE ICC*. May 2002; 3186-3190
- [33] Chen S, Nahrstedt K. Distributed Quality of Service Routing in Ad Hoc Networks [J]. *IEEE Journal on Special Areas in Communications*, 1999, 17(8): 1488-1505
- [34] Pei Xuebing, Wang Qingping, Zhu Guangxi, et al. Load balancing strategy of heterogeneous wireless networks based on multi-hop routing algorithm of Ad Hoc network [J]. *High Technology Letters*, 2009, 15(1): 44-50
- [35] Pei Xuebing, Zhu Guangxi, Wang Qingping, et al. Cooperative load-balancing strategy based on N-hops routing algorithm of Ad Hoc network in heterogeneous overlapping networks [J]. *Annals of telecommunications-Annales des télécommunications*, 2008, 63(11/12): 597-606