

无线协作Mesh网

Wireless Cooperative Mesh Network

中图分类号:TN929.5 文献标识码:A 文章编号:1009-6868 (2008) 03-0018-04

摘要:异构无线网络的融合是当前无线网络的发展趋势。针对融合过程中遇到的诸如传输模式选择、负载均衡、路由和切换之类的问题,文章提出了一种新的网络融合架构:无线协作Mesh网。该架构基于无线Mesh网的网络结构,并通过协作通信进一步优化其结构、提升其性能。该架构能充分发挥Mesh技术高频谱效率、动态自组织的优点和协作通信高分集增益、高能量效率的优点,可为无线网络融合提供一种有效的解决方案。

关键词:协作通信;无线Mesh网;网络融合

Abstract: Heterogeneous wireless networks convergence is a trend in present wireless networks development. As a new architecture for network convergence, the wireless cooperative Mesh network is introduced in this article to solve the convergence problems such as transportation mode selection, load balance, routing and handoff, etc. Based on wireless Mesh networks architecture, further architecture optimization and performance improvement of the network is achieved through cooperative communication. With advantages over a full exploitation of high spectrum efficiency and dynamic self-organization of the Mesh technology, high diversity gain and high energy efficiency of cooperative communication, this new architecture provides an effective solution for wireless network convergence.

Key words: cooperative communication; wireless Mesh networks; network convergence

随着无线通信技术的飞速发展,为了满足不同应用场景的需要,各种异构无线网络层出不穷,这些种类繁多的无线网络的发展为用户在带宽、覆盖范围、服务质量(QoS)、计费等方面提供了多样化的选择。但是为了实现各种异构网络的互联互通,网络融合成为必然趋势^[1]。网络融合现阶段的研究主要集中于自组网与蜂窝网的融合^[2],用网状网(Mesh)的优点来弥补点对多点的覆盖问题,主要通过以下两种方式实现:

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60672079)、江苏省自然科学基金资助项目(BK2006701)

(1)网络交互
3GPP给出的3G/WLAN交互结构,其交互模式有两种:紧交互和松交互。不论哪种模式,因采用双模终端,都无需改动3G或无线局域网(WLAN)的网络结构,所以网络交互对网络结构没有太大影响。

(2)网络混合
将自组网与蜂窝网融合成支持单一或多模终端的新网络,包括:机会驱动多址接入(ODMA)、多跳蜂窝网(MCN)、蜂窝与Ad Hoc联合网(U-CAN)、自组织支持的GSM网(A-GSM)、自组织中继支持的蜂窝系统(PAR-CEL)、移动节点辅助数据转发模型

杨文东/YANG Wen-dong
蔡跃明/CAI Yue-ming
徐友云/XU You-yun
(解放军理工大学 通信工程学院,江苏 南京 210007)
(Institute of Communications Engineering, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

(MADF)、分组多跳无线网(SOPRANO)以及集成蜂窝和Ad Hoc的中继系统(iCAR)等等。所有这些网络模型的共性是支持终端直传和多跳两种传输模式,区别在于终端类型(单一终端或多模终端)以及中继节点类型(终端、专用中继站或专用无线路由器等)。网络混合改变了蜂窝网和自组网结构,混合后的网络结构可分为两类:第一类中继节点为终端;第二类中继节点为专用节点,不一定需要终端具有转发路由功能。

目前对网络融合的研究大都是对现有的各种网络进行修改或增强,尚没有一个较好的网络融合方案。因此,设计一种新的网络融合架构来实现异构网络的融合成为人们的努力目标。

无线Mesh网因其高频谱效率、动态自组织和敷设成本低等优点被认为是网络融合中的一项关键技术。作为一个完整的网络,无线Mesh网通过多跳中继技术,在移动台和有线网络(如Internet)之间转发业务。无线Mesh网中采用了中继,不管是固定中继还是移动中继,这都为协作通信技术的应用提供了前提条件。

协作通信技术具有高分集增益和高能量效率的优点,被认为是增强无线通信系统性能的一项重要技术。

基于无线Mesh网和协作通信两项技术,本文给出无线协作Mesh网这样一种新的网络融合架构。该架构基于无线Mesh网的网络结构,并通过协作通信进一步优化其结构、提升其性能,能够有效地提高无线网络的可靠性、有效性、鲁棒性以及用户服务质量,使得有限的无线频谱和功率资源能发挥出最大的效用。

1 无线Mesh网的基本原理

无线Mesh网^[3]是从Ad Hoc网络分离出来的,承袭了部分WLAN技术,是一种与传统无线网络完全不同的新型无线网络,具有组网简单、方便和可扩展等优点。

无线Mesh网作为一种新型的宽带无线网络结构,是一种高容量、高速率的分布式网络,它与传统的无线网络有较大的差别。从网络拓扑结构上看,无线Mesh网可以看作是无线版、缩微版的互联网,亦可看作是WLAN和Ad Hoc网的融合,且充分发挥了两者的优势。作为一种可以解决“最后一公里”“瓶颈”问题的新型网络结构,被写入了IEEE 802.11、IEEE 802.15、IEEE 802.16 和 IEEE 802.20标准中^[4]。

无线Mesh技术的出现使得传统WLAN一直存在的可伸缩性差和鲁棒性差等诸多问题迎刃而解。它代表了无线网络技术的又一大跨越,有着广阔的应用前景^[5-7]。一般来讲,无线Mesh网由用户节点、Mesh路由器节点和网关节点组成,但是根据网络具体配置的不同,不是所有的Mesh网都包含以上所有类型的节点。Mesh用户节点可以是笔记本电脑、PDA、Wi-Fi手机、无线传感器等。Mesh路由器可以是普通的PC,也可以是专用的嵌入式系统。

在无线Mesh网中,由Mesh路由器互联构成无线骨干网,其移动性很小,他们提供无线Mesh网与其他网络(如Internet、蜂窝网、基于IEEE 802.11的无线局域网、基于IEEE 802.15的无

线个域网、基于IEEE 802.16的无线城域网以及无线传感网)连接的网关和路由功能。

与传统的无线路由器相比,无线Mesh路由器除了具有传统路由器的功能外,还有额外的路由功能来支持Mesh连网,可以通过无线多跳通信,以低得多的发射功率获得同样的无线覆盖范围。Mesh路由器通常具有多个无线接口(基于相同的或不同的无线接入技术构建),以进一步提高Mesh网络的可伸缩性。

Mesh用户节点可分为两类:一类是普通的WLAN用户节点,这类节点不具有移动Ad Hoc网络典型意义下的信息转发功能,只作为普通终端设备接入网络;另一类节点既具有普通节点的接入功能,又具有路由和信息转发功能,即兼具了无线路由器的功能。

无线Mesh网依据网络结构的不同可以分为3类:骨干Mesh结构、用户Mesh结构和混合结构;依据结构层次的不同又可分为3类:多级结构、平面结构和混合结构。下面重点介绍最常用的骨干Mesh结构,它是一种多级结构。骨干Mesh结构是由Mesh路由器组成一个可以自配置和自愈的链路来充当骨干网,通过Mesh路由器的网关功能与Internet相连,并为用户提供接

入服务。在这种网络结构下,普通用户和已有的无线网络可以通过Mesh路由器的网关或中继功能接入无线Mesh网。骨干Mesh结构如图1所示。图1中虚线和实线分别表示无线和有线连接,其中无线连接使用包括IEEE 802.11在内的多种无线技术,具有以太网接口的普通用户通过以太网连接接入Mesh路由器。如果普通用户具有与Mesh路由器相同的无线技术,则可以建立直接通信;若所用的无线技术不同,则用户需要先接入具有以太网接口的基站再与Mesh路由器相连。

2 协作通信的基本原理

协作通信^[8]是利用信号的广播特性,通过中继转发信号并在接收端联合处理源信号和协作中继信号使得接收端获得空间分集增益的一种无线通信技术。换言之,它是中继(即多跳)通信与直接通信并行融合的方案。从信号处理的角度看,它显然不是单纯的多跳通信或中继通信。协作通信的中继节点(R)既可以是具有转发功能的移动台(MS),也可以是专用的中继站。

基本的协作通信模式如图2(a)所示,首先源节点移动台广播信息至中继节点和目的节点,如基站(BS);然后中继节点转发接收的信息(可以采

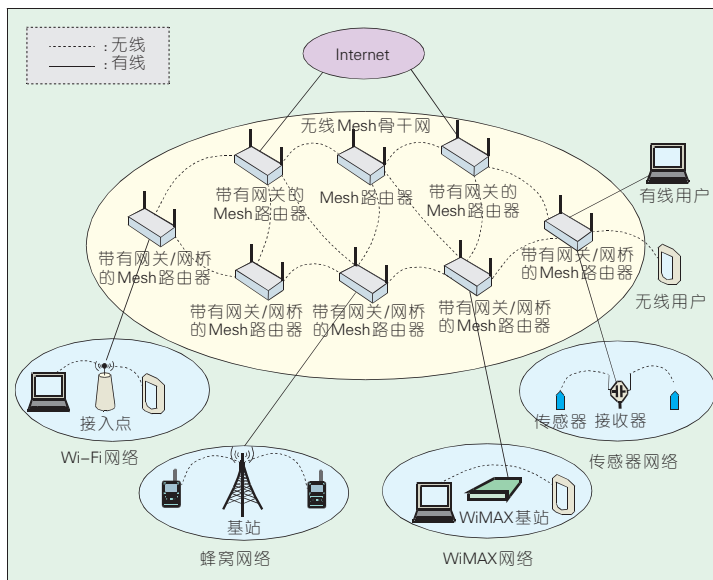
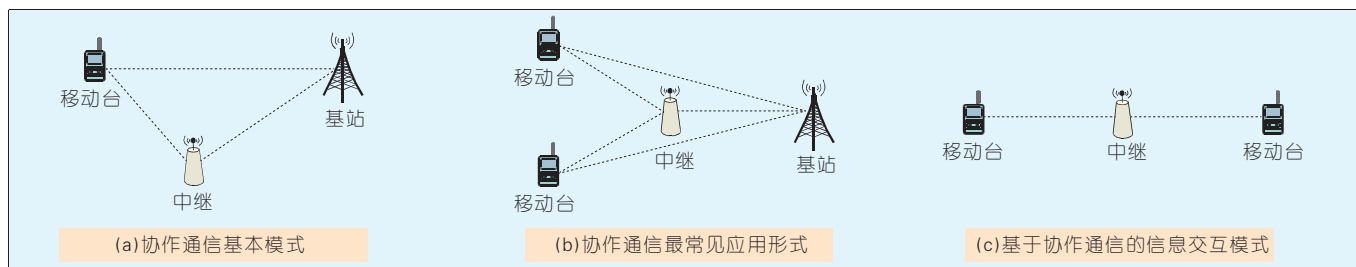


图1 骨干Mesh结构



▲图2 协作通信模型

用放大转发或译码转发等协作通信策略)至目的节点;目的节点通过合并两次接收到的信号联合解调源节点信息。为了保证源信号和中继信号的正交性,可以采用频分复用或时分复用模式。

图2(b)为协作通信最常见的应用形式,可以具体衍生为以下几类传输模型:

- 协作多址接入,该模型支持用户上行链路的同时接入。可进一步细分为两种模式,一是利用额外中继节点协作所有源节点;二是源节点相互协作,没有额外中继节点。

- 协作广播,该模型支持下行链路的单播和广播业务。

- 协作接收,该模型特别适合点对点传输,例如在无线传感器网络

中,如果中继节点距离目的节点(如无线路由器等)很近,即可采用协作接收。

- 协作发送,该模型适用于中继节点靠近源节点的情况。

图2(c)为基于协作通信的信息交互模式,适用于对等业务传输。在图2所有应用模型中,中继节点既可以是一个,也可以是多个;既可以并行中继,也可以串行中继。已有的研究表明,协作通信具有比单跳通信和多跳通信更显著的优势。

3 无线协作Mesh网

本文以无线Mesh网和协作通信技术为基础给出了无线协作Mesh网这样一种新的网络融合架构,该架构基于无线Mesh网的网络结构,并通过

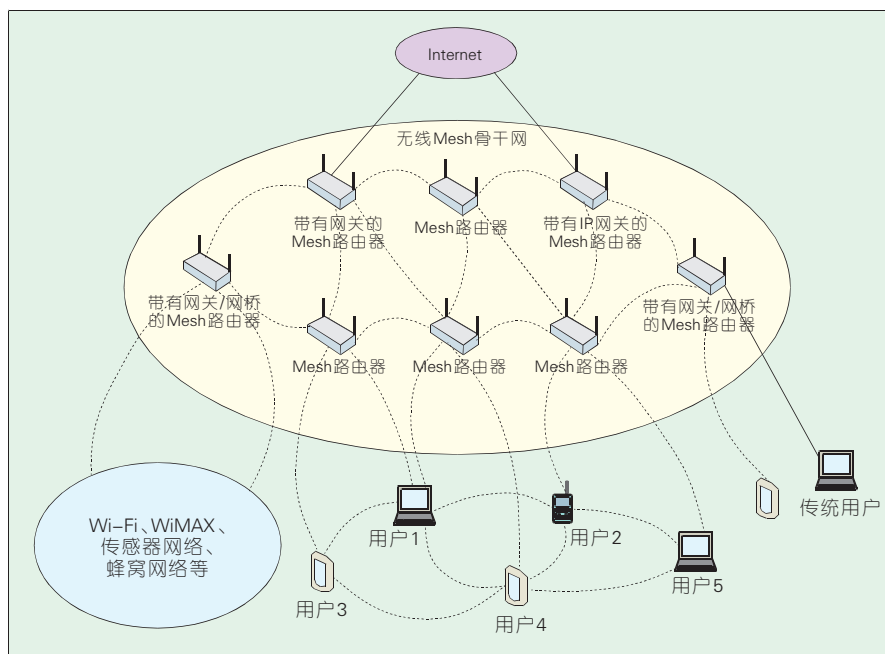
协作通信进一步优化其结构、提升其性能。该架构如图3所示。首先是由Mesh路由器组成无线Mesh骨干网,然后用户之间组成无线Mesh用户网。用户要得到服务,先接入无线Mesh骨干网,而离Mesh路由器较远的用户可以通过多跳接入无线Mesh骨干网。此外,由于协作通信的引入,用户之间还可以互相协作,以获得更好的性能。下面从4个方面讨论无线协作Mesh网的工作原理。

3.1 传输模式选择

在融合网络中,会有多种传输模式可供选择:传统蜂窝方式、Ad Hoc方式、协作通信方式等等。因此,当这些传输模式都能实现用户的通信需求时,就不可避免地要解决传输模式的选择问题,这当中包括业务发起时的模式选择和业务过程中的模式转换两部分。传输模式的不同将直接影响网络的整体性能,因此在选择传输模式时必须综合考虑当前网络资源的利用率、网络的负载平衡程度、业务的QoS要求以及用户的移动特性等各种因素,以达到最佳的网络性能。同时,我们还应当明确衡量一种传输模式选择机制优劣的标准,确定有效的优化函数关系。

3.2 负载平衡

负载平衡问题也是融合网络中的一个关键问题。有研究发现,融合网络中的节点所承担中继转发业务的多少和该节点在网络中的位置以及周围区域节点密度有关。靠近网络



▲图3 无线协作Mesh网

中心的节点要比网络边缘的节点承担更多的中继转发业务。这就使得处于网络中心区域的节点最早消耗完自身的能量,从而造成网络中心区域节点的密度降低,并增大了这一区域其他节点的负担,形成恶性循环。这种区域性的节点密度降低一方面会导致网络出现分割,另一方面也会对正在进行的业务产生影响,造成网络吞吐量降低。所以,负载均衡问题是融合网络中需要重点研究的问题之一。在我们给出的无线协作Mesh网中,我们对最短路由发现机制进行了改进,搜索多条备份路径而不是只搜索一条最短路径。业务发起时,由节点自主地选择一条链路节点负载最小的路径进行传输;或者由基站根据全网当前的负载分配和吞吐量从搜索出的路径中选取一条路径指配给用户。

3.3 路由

融合网络的路由需求不同于传统的蜂窝网和Ad Hoc网,其传输模式的多元化以及节点类型的多样化使得现有的蜂窝网和Ad Hoc网路由协议都不能满足融合网络的需要。一方面,融合网络中的多种传输模式给路由机制带来了新的要求,而且传输模式间的动态切换也是设计融合网络路由机制必须考虑的因素之一;另一方面,融合网络中不仅有预先敷设的基础网络设施,而且还可能有一些专门设置的计算能力和存储能力都更为强大的中继节点。这些具备完全或部分“中心”功能的节点可以获得一定覆盖区域内的节点位置信息和网络拓扑信息,从而为路由的计算和路径的选择起到一定的辅助作用。所以,设计融合网络路由机制时必须合理地利用这些节点,将分布式路由和“中心节点”的辅助相结合,从而提高全网的性能。

3.4 切换

切换是移动应用最直接的支撑

技术。切换包括水平切换和垂直切换两种,前者指的是同一网络中不同小区(扇区)之间的切换,后者指异构网络之间的切换。影响切换性能有两个因素:小区频谱规划和容量规划,这两个因素又与业务模型和业务分布密切相关。合理的容量规划应该以最小化切换阻塞率为优化目标,同时保证最大的剩余容量。当前,移动业务模型不仅具有突发特性,还将具有群发特性。例如火车、汽车等交通工具行驶过程中产生的群体业务切换请求。虽然提高剩余容量可以解决这个问题,但这会浪费网络资源也会增加小区内新呼叫接入的阻塞率。利用协作切换可以很好地解决这个问题。协作切换的思路简单地说是利用协作通信技术进行负载均衡。传统切换决策通常会在接收信号强度和小区阻塞率两个参数之间为难,而在无线协作Mesh网中,切换的唯一准则就是接入到业务负荷最轻的临近小区,利用协作多跳的方案确保接入传输的可靠性。

协作切换可以认为是接入点主控和移动端主控两种方案的折衷,移动端首先发起切换接入请求,业务负荷最轻的接入端根据网络连通状态计算路由信息并为移动端指定接入路径(即指定中继为移动端提供路由),同时分配相应带宽。另外,针对群发业务,可在交通工具上安置无线路由器作为切换请求代理。

4 结束语

异构无线网络的融合是无线网络发展的大势所趋。本文以无线Mesh网和协作通信技术为基础,给出了无线协作Mesh网这一新的网络融合架构。该架构基于无线Mesh网的网络结构,并通过协作通信进一步优化其结构、提升其性能。

无线协作Mesh网能充分发挥Mesh技术高频谱效率、动态自组织的优点和协作通信高分集增益、高能量效率的优点,为无线网络融合提供了

一种有效的解决方案。

5 参考文献

- [1] 卢美莲,程时端.网络融合的趋势分析和展望[J].中兴通讯技术,2007,13(1):10-13.
- [2] 崔维嘉,于宏毅,李青.混合网络研究[J].中兴通讯技术,2005,11(4):36-41.
- [3] AKYILDIZ I F, WANG X, WANG W. Wireless mesh networks: A survey [J]. Computer Networks, 2005, 47(1): 445-487.
- [4] BOLTON W, XIAO Y, GUZANI M. IEEE 802.20: Mobile Broadband Wireless Access [J]. IEEE Wireless Communications, 2007, 14(1): 84-95.
- [5] HINCAPIE R, SIERRA J, BUSTAMANTE R. Remote locations coverage analysis with wireless mesh networks based on IEEE 802.16 standard [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(1): 120-127.
- [6] HE J, YANG K, GUILD K, et al. Application of IEEE 802.16 mesh networks as the backbone of multihop cellular networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(9): 82-91.
- [7] NIYATO D, HOSSAIN E. Radio resource management in MIMO-OFDM-based wireless infrastructure mesh networks: Issues and approaches [J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(11): 100-107.
- [8] NOSRATINIA A, HUNTER T E, HEDAYA T A. Cooperative communication in wireless networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(10): 74-80.

收稿日期:2008-03-03

作者简介



杨文东,解放军理工大学通信工程学院在读博士研究生,主要从事MIMO技术和协作通信技术研究。



蔡跃明,东南大学博士毕业,解放军理工大学通信工程学院教授、博士生导师,主要从事下一代移动通信关键技术的研究。



徐友云,上海交通大学博士毕业,解放军理工大学通信工程学院教授、博士生导师,上海交通大学兼职教授,主要从事信息论与编码、无线资源管理和下一代无线通信网络的研究。