

适合无线自组网的 QoS 体系结构研究

王海涛, 付 鹰, 黄照翠

(解放军理工大学 通信工程学院, 江苏 南京 210007)

摘 要:随着移动无线网络技术的发展和多媒体业务的普及,在无线自组网上保障业务的服务质量(QoS)已成为备受关注和急需解决的热点问题之一。文中提出一种适用于无线自组网的 QoS 体系——FQAW,试图提升无线自组网的 QoS 保障能力。首先,说明了在无线自组网中采用 QoS 体系结构的必要性。然后,详细说明和分析 FQAW 体系结构的设计理念、网络结构、功能部件和相关机制。分析表明基于分簇网络结构的 FQAW 可提高无线自组网的可扩展性和服务质量保障水平,但是还需借助于计算机模拟和现场试验等方法来评价 QoS 网络体系结构的优劣。

关键词:无线自组网;QoS 体系结构;FQAW;网络结构;跨层设计

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)11-0127-04

Research on QoS Architectures for Wireless Self-organized Network

WANG Hai-tao, FU Ying, HUANG Zhao-cui

(Institute of Communication Engineering, PLAUST, Nanjing 210007, China)

Abstract: With the development of mobile network technologies and popularity of multimedia services, QoS guarantee in wireless self-organized network (WSON) has become one of burning issues. In this paper, a kind of QoS architecture suitable for WSON named FQAW is proposed to improve QoS support capability in WSON. Necessities of adopting QoS architecture in WSON are explained firstly. Then, design ideas, network structure, functional components and relevant schemes of FQAW are expounded and analyzed in detail.

It is shown from analysis that FQAW based on clustering network structure can enhance scalability and QoS level of WSON. However, proposed QoS architecture should be evaluated by using computer simulations and field experiments.

Key words: WSON; QoS Architecture; FQAW; Network Structure; Cross-layer Design

0 引 言

随着移动无线网络技术的不断发展和多媒体业务的日益普及,在无线自组网上保障各种业务的服务质量(QoS)已成为备受关注和急需解决的问题。无线自组网(Wireless Self-organized Network, WSON)是一种不依赖基础设施由节点协作自动组网的移动计算机网络,具有无基础设施支持、自动组网、多跳协作转发等特点,非常适合战场通信、偏远地区、紧急突发和临时性通信等场合^[1]。最早的无线自组网可以追溯到20世纪70年代美军研制的分组无线网,后来陆续出现了Ad Hoc网络^[2]、无线传感网^[3]和无线mesh网络^[4]等形式,它们各具特色和应用领域。

但是,动态变化的网络拓扑、较低的带宽、受限的能量和计算能力给无线自组网中的QoS保障带来很大困难^[5];动态变化的网络拓扑使得业务数据流经的

链路和节点不确定,甚至不存在可用的端到端路径,因此必须采用机会路由机制伺机转发数据,并要协议栈各层次是能及时应对复杂多变的网络环境。现存的QoS保障机制通常只针对特定的网络场景和单一的协议层次,没有认识到上层应用的服务质量保障实则涉及协议栈多个层次,网络体系结构缺乏整体性考虑。为此,文中考虑借鉴因特网中采用的QoS模型^[6](如IETF提出的InterServ和DiffServ服务模型)和针对单跳蜂窝网络设计的QoS模型来提出一种适合无线自组网自身特点的QoS体系结构框架,明确网络各层次的功能划分和需要解决的技术问题,并重点阐述该体系结构的设计理念、网络架构、功能模块和相关机制。

1 面向无线自组网的 QoS 体系结构

1.1 设计理念

基于上述分析,若要在无线自组网中为各种业务提供服务质量保障,协议栈各层次必须协调配合进行运作。具体来说,物理层应考虑信道干扰并可采用功率控制和特殊的信道编码机制;数据链路层可采用支持业务区分的信道分配和接入协议;网络层可采用具

收稿日期:2012-03-09;修回日期:2012-06-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61072043)

作者简介:王海涛(1976-),男,博士,副教授,CCF会员,研究方向为宽带网络和服务质量保证。

有 QoS 意识并能适应拓扑变化的路由协议;传输层可以通过数据重传、拥塞控制和连接冻结等机制来适应恶劣的无线网络环境;应用层还可采用自适应编码和调制机制来提高应用的自适应性。另外,考虑到网络融合和可扩展性,网络体系结构应基于 TCP/IP 协议并进行适当的适应性调整。

在考虑无线自组网的动态特性以及与其它网络互联需求的基础上,参考已有的移动网络 QoS 体系结构,提出了一种适用于无线自组网动态多变特性的 QoS 体系结构——FQAW (Flexible QoS Architecture for WSON, 灵活的 WSON QoS 体系结构),下文将对其网络结构和各功能模块进行详细阐述。

1.2 网络结构

现有的 Internet 和移动蜂窝网络采用的都是分级网络结构,包括用户终端子网和骨干核心网络。鉴于分级网络结构具有较好的可扩展性并且易于管理和维护,FQAW 的网络结构也是分级组织的,并能够方便地与现有基础设施网络进行互联互通。具体来说,FQAW 通过某种分簇算法将网络划分成若干个簇,每个簇包含多个普通节点和一个簇头节点,簇头节点构成了上一级网络,并且簇头还可以继续通过分簇算法构造更高级的网络(参见图1)^[7]。分簇网络结构中,簇内的普通节点可以视为用户子网,而簇头和网关互连构成无线干线网。另外,为了接入外部网络(如 Internet),允许一些簇头通过互联网关与 Internet 实现互连互通。在某些特殊情况,簇头也可以直接接入 Internet 中的边缘路由器。与此类似,无线自组网也可以与邻近的移动蜂窝网络实现互连。FQAW 采用分簇分级网络结构可以方便地与因特网和移动蜂窝网络实现互连,相隔较远彼此孤立的 WSON 也可以通过接入外部网络实现互连,有效拓展了网络的覆盖范围和服务能力。

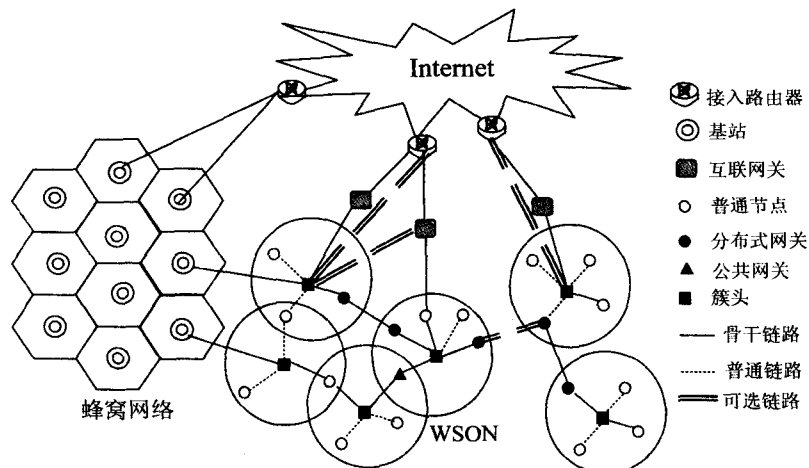


图1 支持网络互联和 QoS 的 FQAW 网络结构
早期的分组无线网中提出了分簇的概念,但是当

时主要用于分级路由,而不是用于资源分配。基于分簇网络结构,无线自组网可以借鉴移动蜂窝网络采用的资源分配和网络管理机制,从而根据业务需求合理高效地使用稀缺的网络资源,进而提升业务的服务质量保障水平。

1.3 自适应跨层协议栈

无线自组网中的资源(包括带宽和能量)非常稀缺。从网络协议栈的角度看,很大一部分网络资源消耗在水平方向的分组的收发上。为此,FQAW 通过增加各层协议之间垂直方向的信息交互来减少移动节点之间水平方向的通信。具体来说,FQAW 采用了基于跨层协议设计和优化思想的自适应跨层协议栈(参见图2)^[8];打破严格的分层约束,允许协议栈各层根据应用需求自由交互相关信息并协调行动,从而根据系统约束条件和网络特征以全局方式优化应用服务性能并适应网络环境的变化。自适应跨层协议栈可以减少整个网络的控制开销和能源消耗,并有助于提升网络的服务质量保障能力。

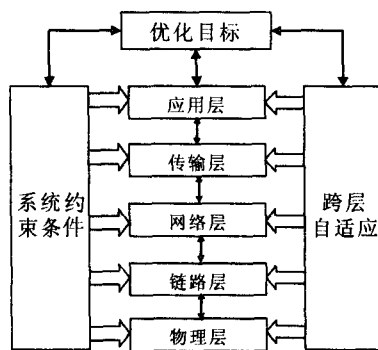


图2 自适应跨层协议栈

自适应跨层协议栈集成了多种自适应调节机制,包括功率控制、速率调节、分组长度调整以及自适应编码和调制技术等,并且可以对不同业务类型和来源的分组进行区别对待来提供服务区分能力。例如,链路

层的自适应功率控制机制用于提供健壮的链路性能;自适应调制技术可以补偿由于干扰和多径衰落引起的 SINR 的变化;自适应传输机制可以根据信道状态来动态改变调制方式,从而可以挖掘信道的传输潜力,进一步改善网络性能。基于自适应传输的 MAC 协议中,节点根据接收信噪比和应用服务质量的要求来选择合适的调制方式,目的是尽量缩短分组传输时间,从而减少分组发生碰撞的时间来提高信道利用率。此外,自适

应跨层协议栈采用一种通用的反馈分组格式来支持各协议层的自适应性^[9],如图3所示。通过发送和接收

反馈分组可以收集和了解网络各层的状况,并依据得到的网络状况做出适应性调节。

反馈分组头
应用层反馈 (如可用带宽信息)
传输层反馈 (分组丢失信息)
网络层反馈 (如移动和拓扑情况)
链路层反馈 (如网络负载情况)
物理层反馈 (如功率控制信息)
反馈分组尾

图 3 反馈分组的格式

1.4 QoS 路由

由于 FQAW 采用分簇网络结构,可以较为容易地实施 QoS 路由。在每一跳,节点均可基于可用的信道情况来选择下一跳路由,并将路由信息上报所在的簇头,然后通过簇头和网关构成的无线干线网分发到各个簇。QoS 路由信息涉及多项敏感的服务性能指标,包括链路带宽、时延、时延抖动和分组丢失率。为了减少计算和发布 QoS 路由信息引入的控制开销,可以使用统计服务特性均值而不使用抽样值。QoS 路由的计算则可以借鉴和改造现有因特网采用的路由算法,如 Dijkstra 最短生成树路由算法,但要事先确定最关心的服务性能指标或加权指标作为计算最短路由的成本函数^[10]。另外,为了提高路由的健壮性和路由恢复时间,可以采用多路径路由和动态路由修复机制。当无线自组网网络规模较大时,应考虑采用为路由信息添加序列号的方法或源路由机制,以防止出现相隔较远的簇头维护的路由信息不一致问题。

1.5 信道接入控制

为了提供 QoS 支持,无线自组网可以采用控制交互和信息传输阶段分离的方法分别进行信道预约和数据传输。具体来说,基于分簇网络结构的 FQAW 可以采用如下信道接入控制方法:在每个簇,簇头可以为簇内的节点集中分配和控制信道的接入;然后在簇间计算和维护提供 QoS 保障的路由并在簇内广播 QoS 路由信息。为了灵活分配和控制信道接入,FQAW 在簇内采用 TDMA 接入方式,将每个帧划分为 m 个控制子帧和 n 个信息子帧^[11](参见图4)。簇内节点在控制子帧完成控制信息的交互并做出信道的分配和接入判决。然后,在分配的信息子帧上传输数据信息。对于不同的节点和不同类型的业务,分配的信息时隙的数量和时间限制各不相同。对时延敏感性业务来说,分配的时隙必须及时并且可能需要进行预留。而时延容忍型业务则可以竞争获取可用的时隙传输数据。另

外,视频和语音分组可以不加确认和重传,而普通数据业务则需要重传。为了减少干扰和提高传输速率,相邻的簇可以使用不同的频率或码字,这就要求簇间的网关节点适时调整发送和接收频率/码字来维持邻居簇之间的通信。

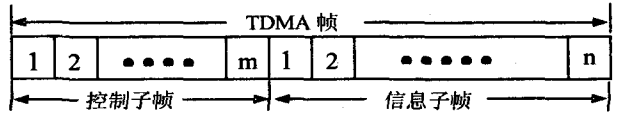


图 4 簇内使用的 TDMA 帧结构

1.6 接纳控制和流量控制

无线自组网中的接纳控制应采用更为灵活高效的机制,如只要能够在不影响已有连接服务质量的情况下满足新连接所请求的最小 QoS 要求就可以允许该连接请求接入网络。为此,源端需要了解足够的网络信息。传统的探测轮询方法会引入较多的开销,在 FQAW 中互联网关可以通过反馈机制收集网络各层协议的相关信息,并根据业务的需求在实施业务流接纳控制。无连接的数据报业务受节点移动的影响较小,但是这种业务流也需要解决 ACK 丢失和网络拥塞的问题。但是节点移动速度过快时,分组失序和丢失将大大增加,此时需要强制某些快速移动的节点不参与路由表的形成或者采用洪泛法路由算法。动态变化的网络拓扑和链路特性使得难以在无线自组网上实施有效的流量工程,即使业务源被限制在预定义的值,并且在给定拓扑和业务量模式的情况下决定网络的容量也是非常困难的。但是,可以使用流量控制技术来辅助建立和维护 VC,因为资源预约发生在路由建立阶段。一种方法是通过反馈分组的转发时延来检测网络是否出现拥塞,然后源端以此来调节注入网络的流量。相比于网络丢弃低优先级分组的方法,在源端采用速率控制机制能更高效地使用带宽,但是源端需要得到网络或目的节点的反馈信息,反应的时间较前一种方法要长。因此,应有机地结合这两种机制,从而既可以对网络的变化进行快速反应,又可以确保较高的带宽效率。

1.7 功率控制和拓扑控制

功率控制可以减少无线节点之间的通信干扰,提高信道空间重用率,降低节点能耗,进而增加增强网络服务性能和延长网络寿命。因此,FQAW 体系结构中应集成功率控制机制。使用功率控制还可用来满足分组的时延要求,当分组传递时延较高时可以增加发送功率来提高分组成功传输的概率和网络的连接度^[12]。通过调节发射功率,可以在节点发生移动的情况下维护激活的链路,从而在维护连接时赋予网络一定程度的灵活性和弹性。此外可以基于用户的 SINR 能否得到维护来决定是否接纳新的用户。

WSO_N 的拓扑是由地形、信道特征和基于节点传输功率限制的某种链路决定协议来确定的。为保证较好的网络连接度,往往采用拓扑控制机制^[13],根据应用环境调整节点的传输范围,使得节点稀疏的区域获得可以接受的连接度,同时能够将节点密集地区的业务流量控制在合理的范围内,尽量减少网络拥塞。拓扑控制往往借助于功率控制机制来实现,目标是在网络连通度约束下最小化成本指标(如总功率)或者在传输功率约束下最大化网络吞吐量。

2 结束语

无线自组网的 QoS 体系结构涉及大量有待深入研究的问题。无线自组网通过使用分布式控制算法来组织和维护网络,网络健壮性和灵活性较好,但引入较大控制开销并消耗大量能量。为此,FQAW 采用分簇网络结构来减少控制开销,提高了网络的可扩展性和服务质量保障水平。此外,FQAW 的设计必须在综合考虑多种因素的基础上进行合理折衷,包括业务量特征、移动模式、硬件特性和信道条件等。分析模型只能研究特定的网络协议的行为,并且有时根本无法实现,为此,评价各部件的性能及其交互作用通常需要借助于模拟试验的方法,考察各个功能部件相对于节点移动性和传输范围等参数的敏感程度,从而可以评价协议的性能和估计各个部件的开销,以此来指导实际的无线自组网的设计。

参考文献:

- [1] 王海涛,朱震宇,付 鹰. 应急通信网络设计及关键技术探

(上接第 126 页)

考虑将其它数据挖掘算法通过 MapReduce 模型的改造,应用到 Hadoop 平台上。

参考文献:

- [1] Han Jiawei, Pei Jian, Yin Yiwen. Mining frequent patterns without candidate generation[C]//SIGMOD'00. [s. l.]: [s. n.], 2000.
- [2] Agrawal R, Shafer J C. Parallel mining of association rules [J]. IEEE Transactions on knowledge and data engineering, 1996, 8(6): 962-969.
- [3] 曾志勇,杨呈智,陶 冶. 负载均衡的 FP-Growth 并行算法研究[J]. 计算机工程与应用, 2010(4): 125-126.
- [4] 尉立伟,姜 浩,蒲安建. Web Service 架构下的分布式关联规则挖掘研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(4): 31-34.
- [5] Jeffrey D, Sanjay G. MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters[J]. Commun. ACM, 2008, 51(1): 107-

讨[J]. 指挥信息系统与技术, 2010, 1(5): 28-33.

- [2] 郑少仁,王海涛,赵志峰,等. Ad hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.
 - [3] 王 雪. 无线传感网络测量系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
 - [4] Liu Tehuang, Liao Wanjiun. On Routing in Multichannel Wireless Mesh Networks: Challenges and Solutions[J]. IEEE Network, 2010, 22(1): 13-18.
 - [5] 王海涛,郑少仁,宋丽华. Ad hoc 网络中 QoS 保障机制的研究[J]. 通信学报, 2002, 23(10): 114-121.
 - [6] 徐昌彪. IP QoS 体系结构综述[J]. 重庆邮电学院学报, 2001, 13(2): 36-42.
 - [7] 王海涛,郑少仁. 移动 Ad hoc 网络中的分簇算法[J]. 解放军理工大学学报, 2004, 5(3): 28-32.
 - [8] 王海涛,刘晓明. Ad hoc 网络中跨层设计方法的研究[J]. 电信科学, 2005, 21(2): 22-26.
 - [9] Chen Jie, Lü Tiejun, Zheng Haitao. Joint cross-layer design for wireless QoS content delivery [C]//IEEE International Conference on Communications. Piscataway: IEEE Press, 2004: 4243-4247.
 - [10] 米志超. Ad hoc 网络的路由协议及 QoS 路由选择算法的研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2002.
 - [11] Lin C R. Real-time Support in Multihop Wireless Networks [J]. ACM Journal of Wireless Networks, 1999, 12(3): 125-135.
 - [12] Mohapatra P, Li Jian, Gui Chao. QoS in Mobile Ad hoc Networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 11(6): 115-120.
 - [13] Goldsmith A, Wicker S. Design Challenges for Energy-constrained Ad Hoc Wireless Networks[J]. IEEE Wireless Communications, 2002, 9(4): 8-27.
-
- [6] 谢桂兰,罗省贤. 基于 Hadoop MapReduce 模型的应用研究[J]. 微型机与应用, 2010(8): 4-7.
 - [7] 江务学,张 璟,王志明. MapReduce 并行编程架构模型研究[J]. 微电子学与计算机, 2011(6): 168-170.
 - [8] Chu C, Kim S, Lin Y, et al. Map-Reduce for machine learning on multicore [C]//NIPS'06. Cambridge, MA: MIT Press, 2006.
 - [9] 余楚礼,肖迎元,尹 波. 一种基于 Hadoop 的并行关联规则算法[J]. 天津理工大学学报, 2011(2): 25-28.
 - [10] 戎 翔,李玲娟. 基于 MapReduce 的频繁项集挖掘方法[J]. 西安邮电学院学报, 2011(7): 37-39.
 - [11] 何中胜,庄燕滨. 基于 Apriori & Fp-growth 的频繁项集发现算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(7): 45-52.
 - [12] Hadoop. The Apache Software Foundation[EB/OL]. 2010. <http://hadoop.apache.org/>.