

文章编号:1000-5013(2014)03-0257-06

doi:10.11830/ISSN.1000-5013.2014.03.0257

异构无线网络融合的建模仿真与性能评估

许晓璐, 蒋文贤

(华侨大学 计算机科学与技术学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 结合 IEEE 802.16 和 IEEE 802.11 标准实现移动互联网的接入,设计一种将 WiMAX 作为 Wi-Fi 回程支持的异构无线网络融合模型.利用 OPNET 仿真工具进行建模,采用自相似 Pareto 分布生成实时、非实时业务的网络流量,并根据不同应用的优先级需求,得出异构无线网络中相应业务的最优配置.分析结果表明:该融合模型与传统模型相比,不仅在实时和非实时业务上的时延抖动和响应时间更优,而且能满足异构无线网络对 VoIP、HTTP 和 FTP 等应用的服务质量(QoS)需求.

关键词: 异构网络;融合模型;WiMAX/Wi-Fi;Pareto 分布;服务质量;仿真分析

中图分类号: TP 393

文献标志码: A

移动互联网是当前信息技术领域热门话题之一,使得人们可以通过移动终端随时获取互联网服务. Wi-Fi(IEEE 802.11e 系列标准)和 WiMAX(IEEE 802.16d 系列标准)均旨在提供低成本的、无处不在的无线移动互联网接入.然而,Wi-Fi 提供 100 m 范围内 54 Mbit · s⁻¹ 的高速数据速率通常用于建筑物内;而 WiMAX 提供 70 Mbit · s⁻¹ 的高带宽无线回程支持,普遍用于覆盖 5 km 范围的大型户外环境,却在室内环境中易因信号衰退而失效^[1].因此,在众多提供移动互联网接入服务的异构无线网络融合方案中^[2],融合 Wi-Fi 和 WiMAX 这 2 种标准技术,用以创建一个完整的无线解决方案,提供移动互联网的接入,自然而然成为其中一种趋势. S. D. Sepehr 等^[3]调查了作为城域网回程支持的 WiMAX 的网络性能. S. K. Singh 等^[4]对比 Wi-Fi、WiMAX 技术参数,提出基于 Wi-Fi 网络的 WiMAX 架构并解释了其可能性. A. Kundu 等^[5]在 WiMAX、WLAN 及 WiMAX-WLAN 这 3 种网络模型中,对比研究不同的音频编解码方式对 VoIP 性能方面的影响,但没有考虑到 WiMAX-WLAN 网络中其他业务类型的情况.本文针对融合 WiMAX 和 Wi-Fi 无线网络以提供无处不在的移动互联网接入需求,设计了一种将 WiMAX 作为 Wi-Fi 回程支持的异构无线网络融合模型,并利用 OPNET 仿真工具对整个异构无线网络进行建模.采用基于网络自相似业务模型(ON/OFF 模型)中的 Pareto 分布产生业务流量,对实时业务(VoIP 业务)和非实时业务(HTTP、FTP 业务)进行了仿真.

1 自相似业务模型

自相似性流模型能够比较真实地反映现代网络业务流量的一些宏观观察特性(如长相关性、自相似特性),成为人们主要研究的一类模型.重尾是指随机变量在超过某个足够大的值时,仍然具有相当大的概率.最典型的重尾分布是 Pareto 分布.由于 Pareto 过程本身具有的自相似性,所以可以利用它建模网络自相似业务,从而仿真实现数据业务.

Pareto 分布的概率密度函数^[6]为

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ ca^c/x^{c+1}, & x \geq a. \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: a 是 Pareto 分布的位置参数; c 是 Pareto 分布的形状参数.产生 Pareto 分布的方法^[6]为

收稿日期: 2013-06-12

通信作者: 蒋文贤(1974-),男,副教授,主要从事三网融合、服务质量的研究. E-mail:jwx@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省工业科技计划重点项目(2014H01010199)

$$X_{\text{Parato}} = a/U^{1/\epsilon}.$$

(2)

式(2)中: U 是满足均匀分布的(0,1)中的值.

由于计算机的计算能力有限,通过式(2)产生伪 Pareto 分布. 叠加多个具有 Pareto 分布的 ON/OFF 周期,产生自相似业务流量.

2 WiMAX/Wi-Fi 的 QoS 支持

为了在 802. 11e 网络中支持 QoS,引入服务请求和服务水平协商功能,结合 HCCA 定义的 8 种业务类别(traffic category, TC)分类方式,用 TSPEC 描述和往来一个非接入点(access point, AP)QSTA(支持 QoS 工作站)的业务特性、业务流(traffic stream, TS)的 QoS 需求. 当一个新的 TS 启动时,节点需要发送服务请求给 AP,提供 TSPEC,而 AP 将执行准入控制以决定是否允许服务的新流进入^[7].

IEEE 802. 16 标准支持多种服务,根据实时性要求可分为实时、非实时业务^[8]. 实时业务分为主动授予业务(unsolicited grant service, UGS)、扩展实时轮询业务(extend real-time polling service, ertPS)、实时轮询业务(real-time polling service, rtPS);而非实时业务分为非实时轮询业务(non-real-time polling service, nrtPS)和尽力而为业务(best effort, BE).

3 异构无线网络融合模型

3.1 异构无线网络融合模型的架构

建模 Wi-Fi/WiMAX 异构无线融合网络模型,其网络架构如图 1 所示. 图 1 中:在 Wi-Fi 热点区域内,移动 Wi-Fi 客户端通过 AP 实现移动互联网的接入. 所使用 AP 是同时具有支持 Wi-Fi 和 WiMAX 的 MAC 和 PHY 层接口的特殊 AP,可充当 WiMAX 网络的用户站(subscriber station, SS),通过基站(base station, BS)将 Wi-Fi 网络数据中继传输到互联网上,反之亦然.

3.2 业务流类型的映射

WiMAX 协议中,需要每个业务流都在 SS 和 BS 上注册. SS 必须发送带有 QoS 参数集的流规格(类似 TSPEC)的连接建立请求给 BS,而 BS 将相应提供带宽. Wi-Fi 的 TSPEC 信息中,例如平均 MSDU 大小、平均业务速率、服务速率最小值和时延界限,等等,可以通过合适的业务类别映射,如表 1 所示,直接映射到 WiMAX 给定的流规格.

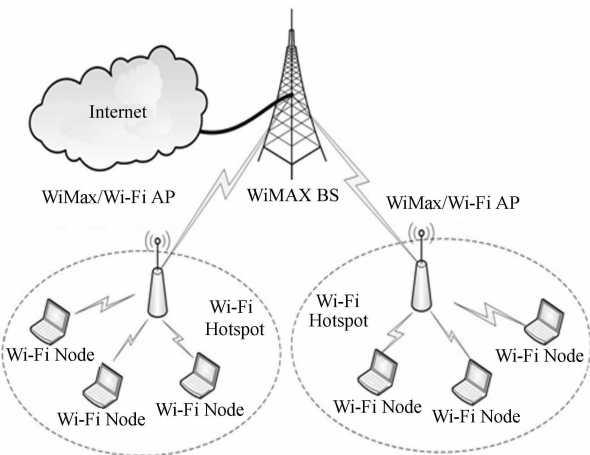


图 1 WiMAX/Wi-Fi 异构网络架构

Fig. 1 Architecture of WiMAX/Wi-Fi of heterogeneous network

表 1 WiMAX 和 Wi-Fi 的业务流类别映射
Tab. 1 Type mapping of WiMAX and Wi-Fi traffic flow

Wi-Fi AC	Wi-Fi TC	描述	WiMAX 的服务等级	应用
AC_BK	TC1, TC2	背景流量	BE	互联网流量的背景流量, HTTP
AC_BE	TC0, TC3	BE	nrtPS	FTP
AC_VI	TC4, TC5	视频, VoIP	rtPS, ertPS	MPEG, 有静音抑制的 VoIP(VBR 流量)
AC_VO	TC6, TC7	语音, T1	UGS	无静音抑制的 VoIP(CBR 流量)

根据表 1 所示的业务流类别映射关系,将 WiMAX 与 Wi-Fi 网络间的业务流根据 QoS 需求进行映射. 此映射功能由具有 WiMAX/Wi-Fi 双栈结构的特殊 AP 实现. 如此在 WiMAX BS 上调度时,只需将 Wi-Fi 业务流当作 WiMAX 业务流调度. WiMAX, Wi-Fi 网络间端到端流建立需要一些融合管理信息,如图 2 所示.

1) 接收来自上层的新的流请求的 Wi-Fi 客户端,将为流的建立生成一个 MAC 添加请求消息(ADD_REQ). 该消息将包括新的流的 TSPEC.

2) 在特殊 AP 的 Wi-Fi MAC 层处接收到请求之后,上层的流量映射模块,通过 ADD_REQ 转换

TSPEC 到流服务,并生成一个动态服务添加请求(dynamic service addition request, DSA-REQ).

3) BS 在接收 DSA-REQ 时,基于准入控制模块,发送一个动态服务添加响应(dynamic service addition resonpse, DSA-RESP). 如果连接被接受,BS 也为此流发送一个连接 ID(connection ID, CID).

4) 特殊 AP 接收到 CID,并向 Wi-Fi 客户端发送一个带有业务流 ID(traffic stream ID, TSID) 的添加请求响应消息(ADD_REQ),通知 Wi-Fi 的 MAC 关于流接收的信息. CID 和 TSID 由特殊 AP 中的映射模块进行映射.

流建立的请求一旦被接受,Wi-Fi 网络的数据包将通过特殊 AP 处理后转发至 WiMAX 网络. Wi-Fi 客户端上层产生的数据包经过 MAC 层、PHY 层,无线传输给特殊 AP 的 Wi-Fi PHY 层;然后,通过 Wi-Fi MAC 层移交给流量映射模块,对应表 1 的流量映射关系,重新封装 WiMAX 数据包包头信息,转交给特殊 AP 的 WiMAX MAC 层、PHY 层;最后,通过无线传输给 BS 的 WiMAX PHY 层,再由 BS 转交给上层. 这就是一次数据包由 Wi-Fi 向 WiMAX 网络的传输过程;反之,可得到数据包由 WiMAX 向 Wi-Fi 网络的传输过程.

4 仿真建模与配置

4.1 融合网络拓扑结构

实验采用 OPNET Modeler 14.5. A 建模 WiMAX/Wi-Fi 融合网络,仿真的网络场景如图 3 所示. 在 Wi-Fi 热点区域(半径 60 m)内,移动 Wi-Fi 客户随机移动,通过 AP 实现移动互联网的访问. AP 充当 WiMAX 网络的 SS,有 WiMAX/Wi - Fi 双栈结构,可处理 WiMAX, Wi-Fi 网络间流量映射的映射模块. 主干网上,服务器通过 BS(WiMAX_BS)连接到相距 120 m 以上的 2 个 AP(WiMAX_Wi-Fi AP). BS 和各个 AP, AP 和各个 Wi-Fi 客户端间的带宽大小均为 $10\text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$.

4.2 业务生成模块

WiMAX 网络业务流具有自相性特性^[9]. 为了更接近现实情况,基于网络自相似性模型 Pareto 分布,针对实时业务、非实时业务及其具体配置情况,如表 2 所示.

5 仿真实验与结果分析

以下实验均采用 OPNET 14.5. A 仿真软件,仿真 500 s,实验结果从 100 s 开始采样,采样间隔为 30 s.

5.1 重尾函数自相似性仿真比较

OPNET 14.5. A 仿真软件函数库中,提供了 Pareto, Gamma, Erlang 等多种重尾分布^[10]. 对 Pare-

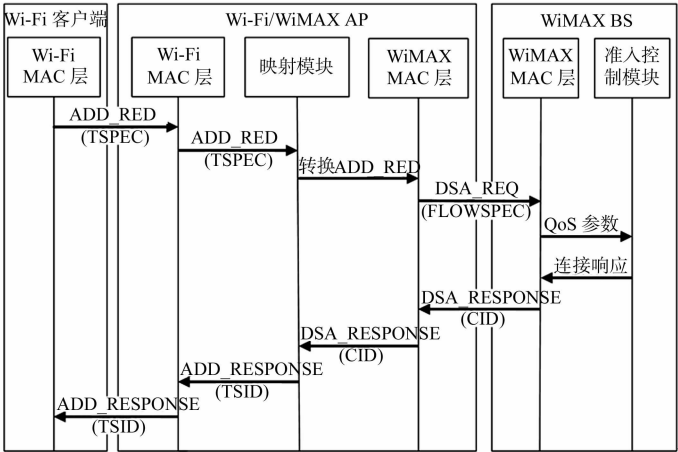


图 2 流建立过程
Fig. 2 Process of flow establishment

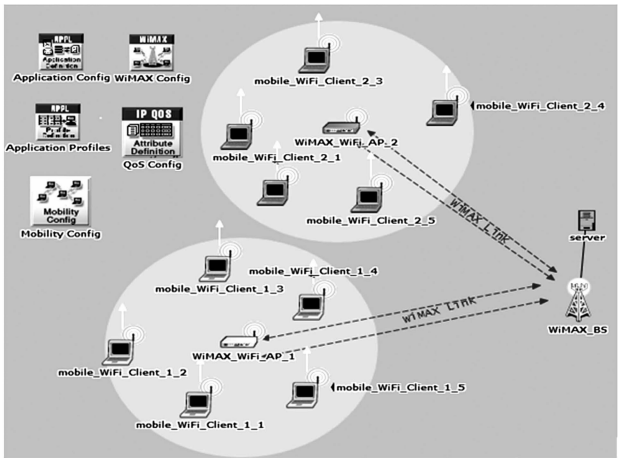


图 3 OPNET 中的仿真场景图
Fig. 3 Simulation scenario in OPNET

表 2 业务模块及配置情况	
Tab. 2 Traffic module and configuration	
业务模块	配置情况
VoIP 模块 (静默期压缩)	语音编码器(G. 711 标准),1 语音帧/数据包,压缩、解压缩时延均为 0.02 s, 静音指数、活动指数均服从指数分布
HTTP 模块	HTTP1.1 标准,页面请求时间间隔服从 Pareto 分布,页面内容包括平均 5 个中等大小(500 B 至 2 kB)的图片
FTP 模块	传输的文件大小服从 Pareto 分布

to, Gamma, Erlang 这 3 种重尾分布, 设置相同的位置参数和形状参数, 生成的业务流量(Q)仿真结果, 如图 4 所示. 从图 4 可以看出: 比起其他 2 种分布, 在具备重尾特性的同时, Pareto 分布具有较好的数据突发性, 更接近于真实网络流量特性.

5.2 融合模型与传统模型的性能比较

传统模型通常建模了 WiMAX, Wi-Fi 两部分网络, 利用路由器将 WiMAX BS 与 Wi-Fi AP 进行连接, 并没有文中所提融合模型的业务流类型映射机制以保障业务的 QoS 需求. 在 OPNET 中建立这 2 种模型, 配置 VoIP, HTTP 业务, 对比实验结果如图 5, 6 所示.

从图 5 可知: 在 VoIP 数据包端到端时延(t_{VoIP})方面, 融合模型几乎为 0, 传统模型高达 6 s. 从图 6 可知: 在 HTTP 页面响应时间(t_{HTTP})方面, 融合模型低于 0.2 s, 传统模型高达 0.8 s. 因此, 融合模型在 VoIP, HTTP 业务上性能优于传统模型, 其他业务也类似, 不再详述.

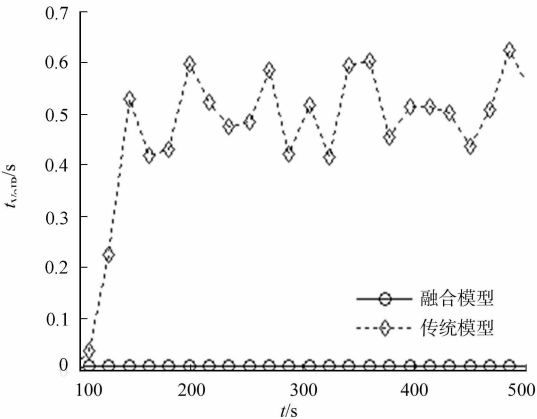


图 5 模型 VoIP 数据包端到端时延对比

Fig. 5 Comparison of VoIP packet delay in models

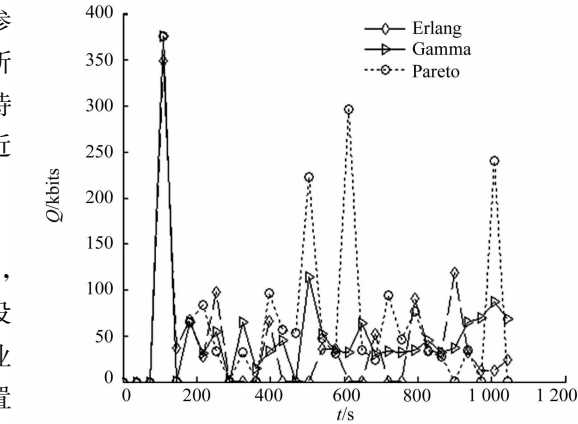


图 4 重尾函数性能仿真比较

Fig. 4 Comparison of heavy-tailed function performance simulation

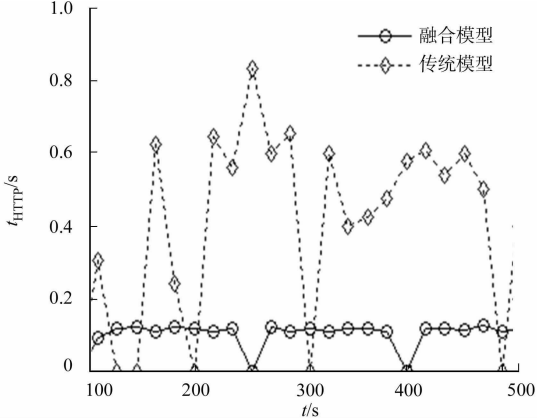


图 6 模型 HTTP 页面响应时间对比

Fig. 6 Comparison of HTTP page response time in models

5.3 不同配置结果对比

根据 VoIP, HTTP, FTP 等 3 种业务存在的不同需求, 设置优先级, 其配置如表 3 所示.

表 3 业务优先级配置

Tab. 3 Priorities configuration of traffic

服务等级	业务类型	优先级: VoIP>HTTP/FTP		优先级: HTTP>FTP>VoIP		优先级: FTP>HTTP>VoIP	
		最大持续 业务速率/ Mbit · s ⁻¹	最小预留 业务速率/ Mbit · s ⁻¹	最大持续 业务速率/ Mbit · s ⁻¹	最小预留 业务速率/ Mbit · s ⁻¹	最大持续 业务速率/ Mbit · s ⁻¹	最小预留 业务速率/ Mbit · s ⁻¹
Gold	VoIP 业务	1.500	1.000	0.500	0.375	0.500	0.375
Silver_nrtPS	FTP 业务	0.375	0.375	1.500	1.000	1.500	1.000
Bronze	HTTP 业务	0.375	0.375	1.000	0.500	1.000	0.500

VoIP 的语音质量通常由平均意见值(mean opinion score, MOS)来估计的, 其范围是从 1(无法接受的)到 5(极好的), 依赖于网络的时延和数据包的丢失^[5], 如图 7, 8 所示. 从图 7, 8 可知: 异构无线网络中 VoIP 业务性能表现均良好, VoIP MOS 平均值在 3.6 以上.

实验采用的 VoIP 编解码器、发送者与接收者及其传输距离(随机移动)是一样的, 因此, 数据包的端到端时延的不同, 主要取决网络的传播、发送和排队时延^[11]. 从图 8 还可看出: 数据包端到端时延平均值总体在 0.080~0.084 s 间, 最大值 0.088 s 也低于国际电信联盟 ITU G. 11 中建议的 0.15 s^[12].

HTTP 和 FTP 的响应时间平均值, 分别如图 9, 10 所示. 从图 9 可知: HTTP 页面的响应时间平

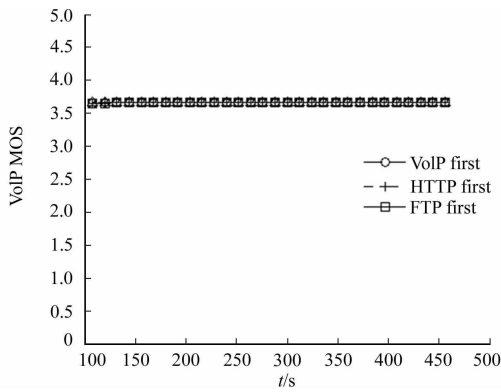


图 7 VoIP MOS 值

Fig. 7 MOS values of VoIP

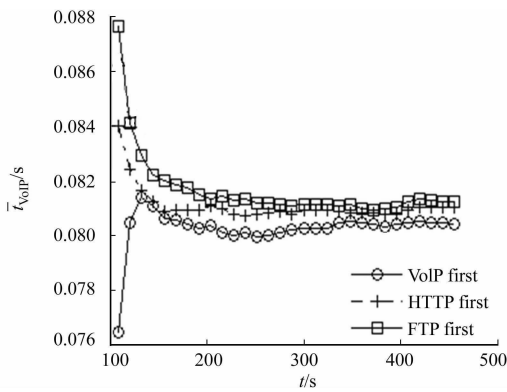


图 8 VoIP 数据包端到端时延平均值

Fig. 8 Average packet end-to-end delay of VoIP

均值低于 0.25 s, HTTP 优先配置下由低于 0.05 s 的 HTTP 页面响应时间平均值可以得出, 此配置下 HTTP 性能表现最佳. 从图 10 可知: FTP 上传和下载的平均响应时间平均值都低于 0.22 s, FTP 优先配置下的 FTP 上传和下载响应时间平均值最低, 在 0.06 s 以下, 说明此配置下 FTP 业务性能表现最优.

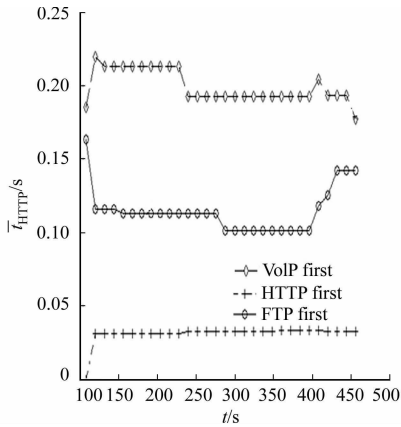
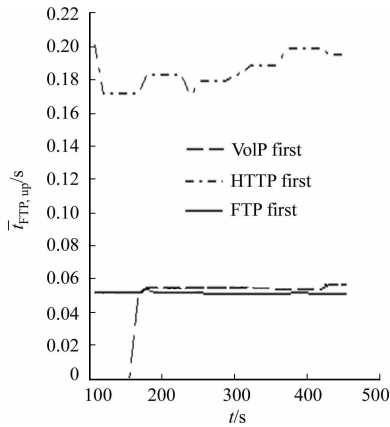
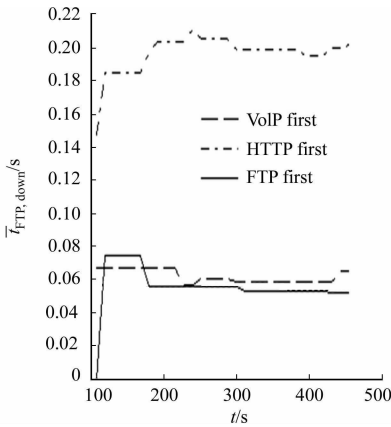


图 9 HTTP 页面的响应时间平均值

Fig. 9 Average response time of HTTP



(a) 上传



(b) 下载

图 10 FTP 的响应时间平均值

Fig. 10 Average response time of FTP

图 11 为 WiMAX 吞吐量(Q_{WiMAX}). 从图 11 可知: 同配置下, WiMAX 网络吞吐量特性符合网络自相似模型, 具备较强的流量突发性.

综合所述可知: 4 种不同业务优先配置下, 异构网络融合模型的网络流量具备网络自相似模型的流量特性. 分析实验结果中各个业务的 QoS 指标, 验证了为满足各种不同业务优先需求而采用的优先级配置的有效性, 即在对应的业务优先配置下, 相应的业务性能表现最佳, 从而证明该异构无线网络融合模型能很好保障实时业务和非实时业务的 QoS 要求.

6 结论

针对融合 IEEE 802.16 和 IEEE 802.11 这 2 种标准以提供移动互联网接入需求, 设计了使用 WiMAX 作为 Wi-Fi 回程支持的异构无线网络融合模型. 采用业务流映射机制, 将 Wi-Fi 网络中的业务流映射至 WiMAX 网络中, 以便 BS 上进行调度. 基于网络自相似业务模型 Pareto 分布生成业务流量, 利用 OPNET 对其仿真建模, 对比传统模型, 该融合模型在 VoIP, HTTP 业务上性能更优.

研究得出异构无线网络中, 针对实时业务 (VoIP, MPEG 业务) 和非实时业务 (HTTP, FTP 业务) 业

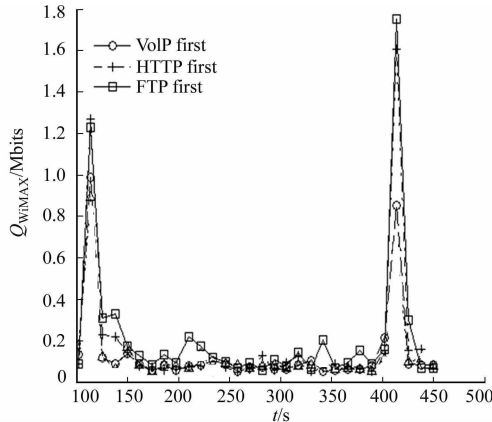


图 11 WiMAX 吞吐量

Fig. 11 Throughput of WiMAX

务优先需求的优先级配置. 仿真实验结果表明, 在各种不同业务优先配置下, 得到相应业务性能表现最佳的结果, 证实了该异构无线融合网络模型能够很好地保障实时业务和非实时业务的 QoS 要求.

在不同的调度算法下, 对异构无线网络融合模型的性能研究将是我们的下一步工作重点.

参考文献:

- [1] PRASATH G A, RAGHU K R, MA M. Integration of WLAN and WiMAX with base station assisted QoS[C]//5th IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks. Surabaya: IEEE Press, 2008: 1-5.
- [2] 罗军舟, 吴文甲, 杨明. 移动互联网: 终端, 网络与服务[J]. 计算机学报, 2011, 34(11): 2029-2051.
- [3] SEPEHR S D, MOVAHHEDINIA N, BARAANI A. Investigating QoS support in WiMAX over Metro-Ethernet backhaul[C]//Second International Conference on Digital Information and Communication Technology and it's Applications. Bangkok: IEEE Press, 2012: 36-41.
- [4] SINGH S K, KUMAR A, GUPTA S, et al. Architectural performance of WiMAX over Wi-Fi with reliable QoS over wireless communication[J]. International Journal of Advanced Networking and Applications, 2011, 3(1): 1017-1024.
- [5] KUNDU A, BHUNIA S, MISRA I S, et al. Comparison of VoIP performance over WiMAX, WLAN and WiMAX-WLAN integrated network using OPNET[M]. Communications in Computer and Information Science. Berlin: Springer, 2010, 90: 316-325[doi:10.1007/978-3-642-14493-6_33].
- [6] 陈威. 基于 OPNET 的 WiMAX 网络建模与业务仿真研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008: 52-54.
- [7] 谢鲲, 龚闯, 孙家奇, 等. QoS 敏感的 802.11e 分组调度算法[J]. 小型微型计算机系统, 2012, 33(1): 32-37.
- [8] 聂伟. WiMAX 无线网络 QoS 测量及优化研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2011: 14-16.
- [9] 胡永东, 吴国新, 钱宁, 等. WiMAX 网络中自相似呼叫接纳控制算法研究[J]. 通信学报, 2012, 33(9): 8-14.
- [10] 陈敏. OPNET 网络仿真[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 136-137.
- [11] SALAH K, CALYAM P, BUHARI M I. Assessing readiness of IP networks to support desktop videoconferencing using OPNET[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2008, 31(4): 921-943.
- [12] ISLAM S, RASHID M, TARIQUE M. Performance analysis of WiMax/Wi-Fi system under different codecs[J]. International Journal of Computer Applications, 2011(6): 13-19[doi:10.5120/2290-2973].

Modeling, Simulation and Performance Assessment for an Integration of Heterogeneous Wireless Networks

XU Xiao-lu, JIANG Wen-xian

(College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: For providing mobile Internet access requirements by the integration of IEEE 802.16 and IEEE 802.11 standards, we design heterogeneous wireless network integration model using WiMAX as Wi-Fi backhaul support. Using OPNET simulation tool for the modeling, based on the network self-similar traffic model Pareto distribution to generate network traffic of real-time and non-real-time services. According to the priority needs of different traffic, we get the optimal configuration of corresponding service in the heterogeneous wireless network. Through of the analysis of network performance indicators in the experiment, it is proved that the integration model in comparison with the traditional model of real-time and non-real-time business, not only delay jitter and response time better, but also the model can meet the requirements of the heterogeneous wireless network VoIP, HTTP and FTP applications such as QoS (quality of service).

Keywords: heterogeneous network; integration; WiMAX/Wi-Fi; Pareto distribution; QoS; simulation analysis

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 吴逢铁)