

基于 OPNET 的移动 WiMAX 网络仿真

OPNET - based Mobile WiMAX Network Simulation

马楠 王莹 张平 (北京邮电大学电信工程学院 北京 100876)

崔春风 黄宇红 (中国移动通信研究院 北京 100053)

摘要:结合 OPNET 和 IEEE 802.16e 协议,采用 OPNET 的三层建模机制、基于包的通信机制和离散事件驱动机制首次完成对移动 WiMAX 网络系统级建模。建模内容划分为无线通信网络建模,IEEE 802.16e 协议建模,统计信息建模三部分。通过仿真获得了移动 WiMAX 网络在轻负载情况下的时延性能。

关键词:802.16e WiMAX OPNET 网络仿真 计算机仿真

1 引言

IEEE 于 2005 年底正式通过了 IEEE 802.16e^[1] 协议,扩充了固定无线城域网标准 IEEE 802.16-2004(又称 802.16d),可用于对 6GHz 频段以下以最高 120km/h 速度移动的用户提供无线宽带接入。与此同时,对基于 802.16e 的移动 WiMAX 网络性能的评估和研究也逐步展开。符合 802.16e 标准的移动 WiMAX 网络的性能表现及组网的效果是研究人员及政策制定者所关注的问题。

采用计算机模拟的网络仿真利用数学建模和统计分析的方法可为设备或协议评估提供客观可靠的定量依据,同时网络仿真也可为网络的规划和部署提供参考。OPNET 系列仿真软件是广泛认可的系统级网络仿真工具,但由于移动 WiMAX 网络是一个全新的网络,在 OPNET Modeler 中还未提供符合协议标准的组件^[2]。本文基于北京邮电大学与中国移动通信研究院合作开发的 802.16e 系统级仿真平台项目:WIMOB(含义为 Mobile WiMAX)。目前已完整开发出符合 802.16e 协议规范的系统级仿真平台,并在此基础上通过仿真对移动 WiMAX 网络性能做出评估。

2 建模机制与方法

对移动 WiMAX 网络的建模符合一般的无线通信系统建模方法,但需要结合 802.16e 协议特性及 OPNET 特性。OPNET 采用三层建模机制,分为网络(Network)级、节点(Node)级和进程(Process)级。模块间

通过基于包(Packet)通信机制传递数据和控制信息。仿真系统通过离散事件驱动机制推进仿真时间。

WiMAX 建模内容可分为以下几个部分。无线通信网络建模,包括:网络拓扑及小区建模,移动性建模,无线信道建模等;802.16e 协议建模,包括:媒体接入控制(MAC)层建模,物理(PHY)层建模,无线资源管理(RRM)算法建模等。

3 无线通信网络建模

IEEE 802.16e 协议支持点到多点(PMP)和格状网(Mesh)两种网络拓扑结构^[1]。可运营的网络一般采用 PMP 结构,因此在 WIMOB 平台中对 PMP 结构网络进行了建模。在仿真网络中存在三种实体(参考图 1):基站(BS),移动用户站(MSS),及无线传播环境(RPE, Radio Propagation Environment)。BS 及 MSS 是对协议规定基站和移动用户站的功能模拟,RPE 完成无线传播计算等功能。BS 采用三扇区结构,每扇区采用 120 度天线。SS 采用全向天线。系统工作频率为 2GHz,系统带宽支持 5MHz 或 10MHz,且同一基站各扇区频率互不重叠,双工方式可选择 TDD 或 FDD 方式。

小区制的无线通信网络仿真可通过采用 Wrap-around 算法^[3]将仿真区域扩展到无限大:当一个 MSS 移动到仿真区域外,Wraparound 算法会将其转移到另一端进入网络。为提高计算效率或增加准确性,平台允许减少或增加 BS 数量,但 BS 的位置需满足中心对

称,且 BS 数目需满足下式要求:

在 OPNET 中,用户的移动模型可采用定义运动轨迹和编程方式实现。轨迹方式直观简便但灵活性不够,用户只能按照规定好的路径运动。本仿真平台采用编程方式实现用户移动模型。用户移动模型分为城区和郊区两种^[1]。在城区环境下,用户沿直线运动,在路口处转向;在郊区环境下,用户以随机角度运动。WIMOB 平台支持固定,步行(3km/h),车载 1(60km/h)和车载 2(120km/h)四种运动速度。

对无线链路的传播损耗通常采用大尺度衰落叠加小尺度衰落的方法建模。对大尺度衰落采用 COST - 231 扩展的 HATA 模型进行建模,具体参数及修正值可参考^[5]。阴影衰落服从对数正态分布。802.16e 协议(可选)支持 MIMO,空间信道模型(SCM)采用文献^[6]的方法进行建模。对无线传播环境的建模是在 RPE 模块中完成的。

4 IEEE 802.16e 协议建模

802.16e 协议定义了 MAC 层与 PHY 层规范。其中 MAC 层又分为三个子层:汇聚子层(CS),公共部分子层(CPS)和安全子层。CS 子层完成与上层的接口,CPS 子层完成大部分 MAC 的功能,安全子层负责加密和认证等功能。在此平台内,安全子层的处理被认为是理想化的而不需要建模。PHY 层选取更适应移动环境应用的 OFDMA 规范^[7]。此外,由于 IEEE 802.16e 协议未规定具体 RRM 算法,为进行仿真必须包含基本的 RRM 算法。

802.16e 协议功能模块属于节点级模型,模块的状态划分及实现属于进程级建模。因此,协议建模与小区建模共同实现了 OPNET 的三层建模机制。

4.1 802.16e MAC 协议 OPNET 建模

OPNET 建模的特点是对实际设备功能的模拟和抽象,程序流程上类似于模拟实际设备的运行过程。对 802.16e 协议 MAC 层建模首先需要对 BS 及 MSS 进行功能模块划分,其次需要分别对各个模块进行状态机划分和进程实现。如前所述,BS 采用三扇区结构,在 OPNET 建模时每个扇区是相对独立的功能实体,需要完成以下协议功能:

- 参数及系统初始化
- 组装/分解 PDU(协议数据单元)

- 上下行管理信息处理及用户管理
- RRM 算法
- 成帧
- 无线信道发送和接收

MSS 建模与 BS 不同。由于业务和移动性和 MSS 是一一对应的,因此将业务(source)与移动性(mobility)建模包含于 MSS 建模中。MSS 协议建模与 BS 建模的主要区别在于:

- 初始化、接入切换等管理信息处理
- RRM 算法

通过采用 802.16e MAC 帧格式^[8],OPNET 基于包的建模机制可完全模拟 BS 和 SS 之间的数据交互、BS 对 SS 的控制及 SS 对 BS 的反馈或要求等实际运行过程。通过采用 OPNET 离散事件驱动机制,包的发送或到达等事件会引起中断,从而推进系统仿真时间。

4.2 802.16e PHY 协议 OPNET 建模

与 OPNET 中 MAC 层建模的设备模拟思路不同,PHY 层建模是对实际 PHY 层的抽象。在 OFDMA 规范中上下行均采用子信道化方式,每个子信道包含一组按协议规定方式选取的子载波。根据子载波映射到子信道的方式,协议定义了五种子信道化模式,文献^[7]对此进行了较为详细的总结。对 PHY 层的抽象在 RPE 模块中完成。

由于 OPNET 不适合做链路级仿真,链路级仿真通常使用其他环境完成,比如 Cossap 或 Matlab 等。由于采用了不同的仿真环境,良好的链路级与系统级仿真的接口是完成仿真的必要条件之一。首先,链路级与系统级仿真应基于同样的 PHY 模式。其次,链路级仿真应与系统级仿真采用相同的仿真前提假设。最后,在链路级仿真完成后,系统级仿真需要将曲线导入到 OPNET 环境中。曲线导入可使用 OPNET 提供的外部模型接入(EMA: External Model Access)方式。

4.3 RRM 算法建模

RRM 算法直接关系到系统的性能。极端情况下,一个坏的算法甚至会导致系统无法运行。为客观评价移动 WIMAX 网络性能,在仿真平台中内置了典型的 RRM 算法,包括多用户调度、切换、接入控制、流量控制等。

4.3.1 多用户调度算法

802.16e 支持多种业务优先级,按调度优先级从

高到低依次为:

- 主动提供服务 (UGS), 提供固定带宽的实时服务。
- 实时轮询服务 (rtPS), 提供可变带宽的实时服务。
- 非实时轮询服务 (nrPS), 以一定周期轮询连接。
- 尽力而为服务 (BE), 根据网络状况提供尽可能的服务, 不保证 QoS。

由于 UGS 业务采用固定带宽分配策略效率不高, 802.16e 对 rtPS 业务进行了扩展, 制定了扩展实时轮询业务 (ertPS) 子类型。ertPS 采用 UGS 的带宽分配策略, 但当业务无排队时可不分配带宽, 因此效率更高。本文对 UGS 和 ertPS 业务的调度均采用 ertPS 策略, 为了保持和 802.16d 业务类型的一致性, 统称为 UGS 业务类型。平台分别选取 VoIP, Video Stream, FTP 及 WWW 浏览四种典型业务进行建模, 并分别映射到四种优先级^[8]。这四种典型业务中, VoIP 和 WWW 浏览业务是上下行双方向的。Video Stream 和 FTP 只有下行业务。业务建模和具体分布参数可参考文献^{[9][10]}。

在仿真场景中, 一个用户支持一种业务类型。不同业务按其优先级顺序依次进行调度, 保证了高优先级业务的实时性。

4.3.2 切换算法等

802.16e 协议最显著的变化是增加了切换支持。在 802.16e 中, 切换分为 3 类: 1) 硬切换 (HHO) 2) 宏分集切换 (MDHO) 3) 快速基站转换 (FBSS)。

其中硬切换是必须支持的方式, 宏分集切换和快速基站切换是协议可选项。硬切换按先断后连的方式, 即先断开原 BS, 再与新 BS 建立连接。在 WIMOB 平台中采用的是硬切换方式。切换算法根据 BS 与 MSS 间路径损耗, 即用户总是切换到信道质量最好的基站上。如果切换失败将保留在原基站上。

由于仿真速度等原因, 仿真基于轻负载情况, 即用户数未达到系统容量极限, 因此忽略接入控制算法和流量控制算法的影响。

5 仿真及结果分析

根据式规定, 系统使用 Wraparound 方法采用 7 个 () 三扇区小区组网。小区半径选取 1500 米, 四个用户

在网络中均匀分布, 各支持一种业务类型, 网络如图 1 所示 (由于缩放显示原因, 基站等体积较大)。

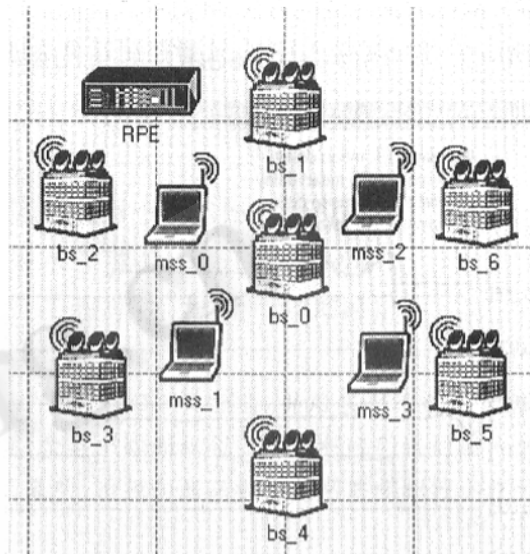


图 1 移动 WIMAX 网络 PMP 网络结构

不同扇区分别使用不同的载频, 分别为 1990MHz, 1995MHz 和 2000MHz, 系统带宽为 5MHz。802.16e 帧长取 2.5ms, 双工方式采用 TDD 方式, 下行与上行比例为 3:1。

BS 及 SS 最大发射功率分别为 46dBm 与 30dBm, 在各子载波上等功率分配, 阴影衰落标准差为 8dB。子载波与子信道的映射方式为部分使用子载波 (PUSC)^[7] 方式。空时编码 (STC) 使用符合协议规定的发分集^[11] 方案。信道纠错码采用基本方式: 卷积码 (CC), 码率为 3/4 或 2/3, 和调制方式结合共组成三种自适应编码调制方式: QPSK 3/4CC, 16QAM 3/4CC, 64QAM 2/3CC, 自适应编码调制门限根据目标误比特率 (BER) 确定。链路级的仿真已先期完成, 并通过 EMA 导入 OPNET 环境中。图 2 为四种不同优先级业务的平均时延统计, MSS 移动速度为 120km/h。横坐标为仿真时间, 单位为分钟 (m), 仿真总时间为 20m; 纵坐标为平均时延, 单位为秒 (s)。从图中可以看出 UGS 的平均时延最小, rtPS 次之, 两类业务的平均时延为 10ms 左右。nrPS 时延在 13ms 左右, BE 时延最大在 25ms ~ 30ms 之间。仿真结果反映出高优先级业务平均时延小于低优先级业务。在轻负载、用户以最大速度移动时, 各业务流时延可接受。

6 结论与展望

本文论述了如何在 OPNET 平台上搭建移动 WiMAX 网络仿真平台的方法,并对系统性能进行了初步分析。此平台对接入控制,流量控制等算法进行了

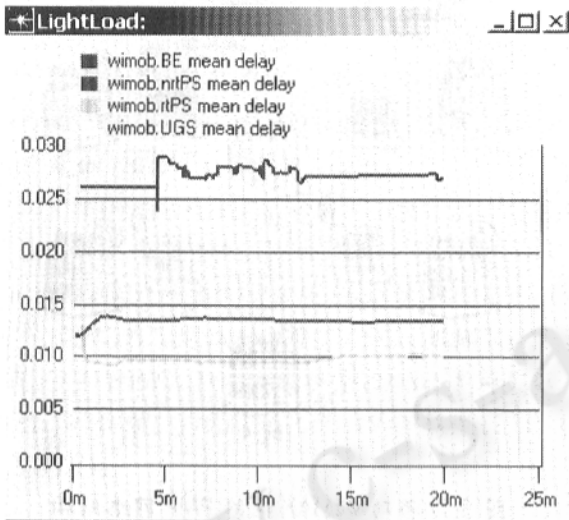


图 2 四种业务类型的平均时延

简化,因此基于该平台仍可进行更深入的算法研究工作,进一步提高系统性能。同时,基于该平台也可对 802.16e 的一些新的协议特性,例如节能模式等进行研究。由于仿真速度限制,目前仅对轻负载情况下的系统性能进行了仿真分析。将来在进一步提高仿真效率,优化算法的基础上可进行重负载性能评估,获得更全面的移动 WiMAX 系统性能。

参考文献

- 1 IEEE. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for fixed and Mobile Broadband Wireless Access System[S], 2006.
- 2 OPNET Model Development Consortium. 802.16 WiMAX [EB/OL]. <http://www.opnet.com/>.
- 3 YB Lin, VW Mak. Eliminating the boundary effect of a large-scale personal communication service network simulation [J]. ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation, 1994, pp. 165-190.
- 4 王莹、张平,无线资源管理[M],北京:北京邮电大学出版社,2005.
- 5 Theodore S. Rappaport. 无线通信原理与应用

[M],北京:电子工业出版社,1999.

- 6 3GPP. Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations [R]. Technical Report TR 25.996 v6.1.0 3GPP. 2003.
- 7 Hassan Yaghoobi. Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN [J]. Intel Technology Journal, 2004.
- 8 马楠、刘培植、张平,无线城域网中的关键技术[J],中兴通讯信技术,2005.
- 9 UMTS 30.03. Selection Procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS [R]. Technical Report TR 101 112 v3.2.0 ETSI. 1998.
- 10 3GPP. Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement [R]. Technical Report TR 25.892 v6.0.0 3GPP. 2004.
- 11 Alamouti, S. M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications[J], IEEE Journal on Select Areas in Communications, vol. 16, no. 8, pp. 1451-1458, Oct. 1998.