

文章编号:1671-6833(2011)02-0101-05

一种 LTE-Advanced 系统级仿真方法建模实现

路兆铭, 温向明, 赵岩琨, 郑伟

(北京邮电大学 信息与通信工程学院, 北京 100876)

摘要: 根据 3GPP 对 4G 无线通信系统性能提出的要求, 通过系统建模, 设计并搭建了 LTE-Advanced 无线通信系统仿真平台。该仿真平台主要包括地理拓扑、Wrap-around、大/小尺度衰落、干扰计算、自适应调制编码、HARQ、分组调度等功能模块。在仿真平台的建模过程中, 应用了蒙特卡洛思想, 对系统性能进行多次随机独立采样, 统计采样结果作为有效数据。在 VISUAL STUDIO 2008 环境下搭建了 LTE-Advanced 系统级仿真平台, 并通过比较轮询算法和正比公平算法评估了仿真平台的性能, 仿真结果表明, 该系统级仿真平台达到了 3GPP 对系统设计的要求, 为 LTE-Advanced 的标准化工作奠定了基础。

关键词: LTE-Advanced; 系统级仿真; 3GPP; HARQ; 分组调度

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

0 引言

第三代合作伙伴计划(3GPP)最早于 2006 年提出了长期演进(Long Term Evolution)的概念。以 OFDM 技术为基础的设计理念和系统结构大幅度地提高了系统的通信能力。2008 年 3 月, 在 LTE 标准化工作接近完成之时, 3GPP 又启动了 LTE-Advanced 项目, 相对于 LTE, LTE-Advanced 从技术性能方面进行了全面增强, 它的发展更多地集中在 RRM 技术和网络层的优化上。

通信系统的仿真通常把链路级仿真和系统级仿真分开进行, 以减小仿真过程的复杂度。通过 LTE-Advanced 系统级仿真, 可以获得小区一级的性能指标, 包括分组数据业务的吞吐率, 时频资源的利用率等, 从而验证 LTE-Advanced 所采用的各种无线资源管理关键技术和参数配置情况, 为开发和研究系统级设计提供技术依据和测试参考^[1]。

LTE-Advanced 系统支持多覆盖场景, 提供从宏蜂窝到室内场景的无缝覆盖, 重点解决低速移动环境中的高速数据传输, 支持下行峰值速率 1 Gbps, 上行峰值速率 500 Mbps^[2]。为了满足这些需求, LTE-Advanced 系统引入了载波聚合技术、中继技术和多点协作传输技术等新技术^[3]。文献

[4] 中提出了一种多载波包调度算法, 系统级仿真证明该算法显著提高了系统的公平性。文献 [5] 分析了频谱聚合技术, 并且提出了几个评价算法的指标。但这些技术的具体算法由不同的研究机构自行设计, 没有统一的标准, 因此需要设计可以运行不同算法的仿真平台来评估这些算法。文献 [6] 利用频域码分多址(FD-CDM)技术, 提出了 LTE-Advanced 中上行 MIMO 链路的 DMRS 设计。然而, 链路仿真只是简单的点到点系统评估, 与实际的多小区多用户系统有很大差别, 必须用系统仿真来评估整个系统的性能。因此, 笔者在 VISUAL STUDIO 2008 环境下搭建了一个 LTE-Advanced 系统级仿真平台, 可以对各种无线资源管理的新算法进行仿真, 从而评估这些算法对系统性能的影响。

1 系统级仿真概述

系统级仿真主要有动态仿真和静态仿真两种方法。笔者主要从静态的角度研究系统仿真的相关内容和问题。这里所用的静态仿真是根据蒙特卡洛方法来完成的, 包括对 LTE-Advanced 系统的多次独立采样, 其中每一次采样称为一次“快照”, 进行多次采样后, 获得系统多个瞬间的状态, 统计系统的性能。

收稿日期: 2010-08-29; 修订日期: 2010-10-30

基金项目: 国家重大专项项目资助课题(D08080100620802)

作者简介: 路兆铭(1986-), 男, 河南安阳人, 北京邮电大学博士研究生, 研究方向为协同通信、跨层优化理论等, E-mail: lzy_0372@163.com。

图1是LTE-Advanced仿真平台的架构图,从图中可以看出,仿真平台通过流程控制模块来控制整个仿真的流程和各个模块之间信息交互.界面显示模块和链路级接口都是单向接口,用户生成模块、信道衰落计算模块、干扰计算模块等分别在仿真过程中完成相应的辅助功能.

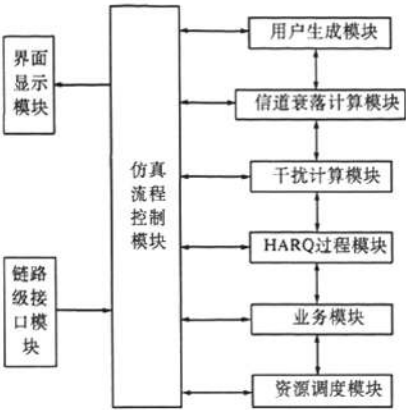


图1 LTE-Advanced 仿真平台总体结构
Fig. 1 The overall framework of LTE-Advanced system level simulation platform

2 系统建模

2.1 用户生成模块

根据文献[7]的要求,系统级仿真平台采取正六边形的小区结构,同时考虑19小区进行仿真,其中每个小区分为3个扇区,如图2所示.在仿真过程中,使用wrap-around方法为每个扇区模拟出两层小区的干扰变化情况,从而保证所有小区统计数据的有效性.

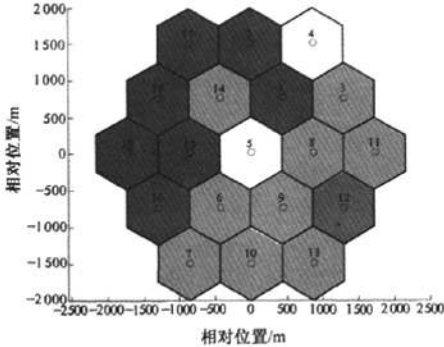


图2 小区位置图
Fig. 2 The location for 19 cells

2.2 信道衰落计算模块

在实际的无线通信中,eNB和UE之间的信

息交互要通过信道进行,因此选择合适的信道模型对整个仿真平台的意义很大.在信道建模过程中,需要考虑传播路损、阴影衰落、快衰和天线增益几个部分.

2.2.1 传播路损

传播路损是指电波在空间传播所产生的损耗.它反映出在大范围空间距离上的接收信号电平平均值的变化趋势,主要决定于传播的环境和条件,并不仅仅决定于传播距离,而且还与传播中的地形、地貌、载波的频率,以及收发天线高度等关系密切.

因此要想从理论角度给出一个确切完整的公式很困难,一般在工程上多采用一些经验公式与模型.这里采用载频为2GHz时采用的大尺度衰落模型的衰落公式:

$$L = 128.1 + 37.6 \log_{10}(R)$$

式中:L是衰落值,dB;R是UE与eNB的距离,km.

2.2.2 阴影衰落

阴影衰落主要是指电磁波在传播路径上受到建筑物等的阻挡所产生阴影效应而带来的损耗,反映了在中等范围内的接收信号电平平均值起伏变化的趋势.由于其变化率比传送信息率慢,故又称慢衰落.

一般从统计规律上看阴影衰落服从对数正态分布,而且在相邻的一定范围内具有相关性.协议中规定利用对数正态分布的随机数来表示阴影衰落值,在仿真中根据协议要求,同一小区的扇区间的阴影衰落相关值为1,不同小区间的阴影衰落相关值为0.5.

2.2.3 快衰落

快衰落损耗反映微观小范围接收电平平均值的起伏变化趋势.其电平幅度分布一般遵从瑞利分布.其变化速率比慢衰落快,故又称为快衰落.影响快衰变化有两个因素,分别是多径效应和多普勒效应.LTE-Advanced仿真平台中,实现的快衰模型如表1所示.

表1 可选信道类型

Tab. 1 Alternative channel types			
信道类型	移动速度/ (km · h ⁻¹)	相干带宽/ kHz	相干时间/ ms
PA	3	2 439	83.3
PB	3	270	83.3
VA	30	398	9.0
VA	120	398	2.2

2.2.4 天线增益

考虑三天线的模型,天线增益计算如下:

$$A(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right] \quad (1)$$

式中: $\theta_{3dB} = 70^\circ$; $A_m = 20$ dB, 其中 θ 是 UE 与基站天线的夹角, 取值范围为 $(-180^\circ, 180^\circ)$.

在每个 TTI 开始前, 会生成 UE 的坐标, 根据坐标计算出 UE 和基站的夹角, 进而计算出 UE 和基站每个天线的夹角. 每个天线增益的增益值取决于天线的指向, 随着与视轴方向的偏离, 天线增益逐步降低. 天线增益与夹角的关系如图 3 所示^[8].

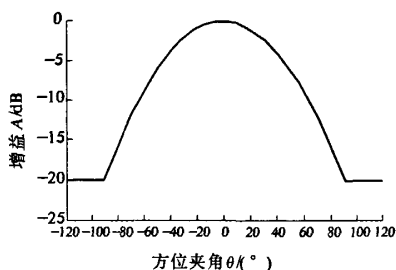


图3 三扇区结构天线增益图

Fig. 3 Antenna gains for three-sector cell

2.3 调度模块

分组调度之于分组业务的地位等同于信道分配之于电路交换业务的地位. 如何为不同带宽、不同 QoS 等级的各种业务合理的分配资源, 同时保证网络的吞吐量和频谱效率, 是分组调度算法完成的任务. 常用的调度算法包括以下 3 种.

(1) 轮询调度 (Round Robin) 算法, 其优先级的表达式为

$$t^i(n) = \eta_i \quad (2)$$

式中: η_i 为 $(0, 1)$ 间均匀分布的随机变量; $t^i(n)$ 表示第 n 个 TTI, 用户 i 的优先级. 该算法的公平性最好, 但是资源利用率很低.

(2) 最大载干比 C/I 算法, 该算法选择信道条件最好的用户占用信道传输数据, 其优先级的表达式为

$$t_j^i(n) = \text{SINR}_j^i(n) \quad (3)$$

式中: $t_j^i(n)$ 表示第 n 个 TTI, 用户 i 在第 j 个资源块上的优先级; $\text{SINR}_j^i(n)$ 为等效信噪比. 该算法的吞吐量和频带利用率都是最大值, 然而该算法却是最不公平的.

(3) 正比公平 (PF) 算法, 该算法同时考虑了用户的信道质量和过去一段时间获得的吞吐量, 其优先级表达式为

$$t_j^i(n) = \frac{W \cdot \log(1 + \text{SINR}_j^i(n))}{R^i(n)} \quad (4)$$

式中: W 为资源块的频带宽度; $R^i(n)$ 为用户 i 在第 n 个 TTI 的平均吞吐量.

2.4 HARQ 模块

HARQ (混合自动请求重传) 是 FEC (前向纠错编码) 技术和 ARQ (自动请求重传) 技术的结合. 仿真中考虑到实现的复杂程度和建模的难度, HARQ 采用同步非自适应方式. 在仿真过程中选择 4 个 TTI 的 ACK 反馈时长, 即需要等待 4 个 TTI 才能知道发送的包是否被正确接收. 每个独立的进程通过时分复用的方式轮流使用信道.

2.5 干扰模块

2.5.1 CQI 计算模块

在计算移动台的干扰时, 需要计算其所在小区的周围两层小区的干扰, 在 UE 所接收到的信号中, 除了当前服务小区外, 均为干扰信号. UE 所接收到的信号功率:

$$P_R = P_T - S_i - L + G_A - P_L \quad (5)$$

式中: P_R 是 UE 的接受功率; P_T 是基站的发射功率; S_i 是阴影衰落; L 是大尺度衰落; G_A 是天线增益; P_L 是穿透损耗. 噪声功率为 UE 接收的相邻

小区信号能量和, 即 $I = \sum_{i=1}^N P_{R_i}$. 这样, UE 接收到的信干噪比为 $\text{SINR} = \frac{P_R}{I + P_N}$.

2.5.2 ACK 计算模块

计算出有效信噪比后, 根据资源块所采用的编码调制方式查找相应的链路级仿真曲线, 就可以得到对应的误码率 BLER.

2.5.3 Chase 合并模块

LTE-Advanced 仿真平台接收端采用 Chase 合并技术将每次接收到的重复码字加权合并后送入 Turbo 译码器. Chase 合并的实现采用最大比值合并, 需要将各支路信号要调整到相同的相位, 然后按照信噪比或功率加权.

2.6 链路级接口模块

在本系统的仿真中采用了 EESM 作为链路级和系统级的映射方法. EESM 的基本思想是找到一个压缩函数把一组不同的 SINR 序列映射成一个单一的 SINR 值, 具体的实现过程如图 4 所示.

在 EESM 中, 使用压缩函数 $I(x) = \exp(-\frac{x}{\beta})$. 这样有效信干噪比为

$$\text{SINR}_{\text{eff}} = -\beta \ln\left[\frac{1}{p} \sum_{p=1}^p \exp\left(-\frac{\text{SINR}_p}{\beta}\right)\right] \quad (7)$$

式中: p 是用户所使用的子载波的数目; SINR_p 是

第 p 个子载波的信号干扰噪声比; β 是尺度因子; 用于当预测的 BLER 和真实的 BLER 不匹配时对压缩函数进行调节。

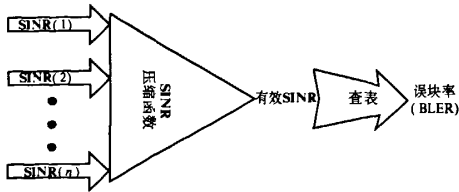


图 4 有效 SINR 映射方法

Fig. 4 Mapping for effective SINR

2.7 仿真结果输出模块

输出的仿真结果包括系统的吞吐量、每个用户的吞吐量、包重传次数、用户被调度情况以及用户边缘/中心标识等。用户可以根据需要调用相关的函数将需要的输出数据写入到文件中,进而对仿真结果进行统计分析。

3 LTE-Advanced 系统级仿真实现及流程

在 Visual studio 2008 环境下搭建 LTE-Advanced 仿真平台。LTE-Advanced 仿真平台基于蒙特卡洛思想,整个仿真过程由若干个快照组成,在每一个快照过程中,都要经历自适应调制编码、HARQ、资源调度和干扰计算等步骤。系统的总体仿真流程如下:

(1)产生仿真环境下的大尺度衰落、小尺度衰落等静态数据,写入表中供仿真过程中查询,以加快仿真速度;

(2)建立小区模型,并在各个小区中播撒用户,根据计算的路径损耗,将用户分给最合适的 eNB,并初始化各个 eNB 和移动台的发射功率;

(3)进入 TTI 循环,根据 3GPP 规定的协议,建立业务模型,并对业务数据包进行自适应调制编码、HARQ、调度等处理;

(4)如果循环次数达到预先设定的值,跳出循环,否则继续;

(5)结束仿真并统计数据,将统计结果输出。

4 系统级仿真结果评估

仿真过程中参数的具体设置如表 2 所示^[9]。

这里分别对轮询和正比公平调度模型进行仿真,得到的仿真结果如图 5 和图 6 所示。其中第 t 个 TTI 的正比公平算法的实现步骤如下。

(1)设置 k 为 1(k 表示子信道);

(2)对于第 k 个子信道,基站计算每个用户 i

的 $P_i(t,k)$ 值:

$$P_i(t,k) = \frac{R_i(t,k)}{[T_i(t)]^\alpha} \tag{8}$$

式中: α 表示公平指数,默认取 0.75; $R_i(t,k)$ 为 i 用户在 t 时刻,第 k 个子信道上可能传送的数据块大小。

表 2 仿真中的参数设置

Tab. 2 Parameters setting for simulation

参数	仿真中设定的值
小区数	19
每小区扇区数	3
小区间距离	500 m
天线数设置	4 × 4
天线类型	独立
频段	2 GHz
基站发射功率	46 dBm
UE 噪声情况	9 dB
UE 天线增益	0 dBi
基站天线增益	14 dBi
热噪声谱密度	-174 dBm/Hz
UE 和基站间最小距离	≥ 35 m
每扇区 UE 数目	20
L2S 接口	EESM

(3)基站选择 $P_i(t,k)$ 最高的用户 i 进行调度;

(4)更新每个用户的 T 值,如果 t 时刻该用户未被调度: $T_i(t) = \beta T_i(t-1)$; 如果 t 时刻该用户被调度: $T_i(t) = \beta T_i(t-1) + (1-\beta)N_i$, 其中 $\beta = 1 - \frac{1}{\epsilon}$, $\epsilon = 100$, N_i 表示用户 i 传送的数据大小;

(5)若未调度完所有子信道, $k = k + 1$, 跳到步骤 3; 否则, 进入下一个 TTI。

从图 5 可以看出,比例公平算法在吞吐量方面明显优于轮询算法,这是因为比例公平算法选择信道条件较好的用户对其分配资源,而只有当用户在一段时间没有发送数据导致优先级提高时才对信道条件较差的用户分配资源。而轮询算法则不考虑用户信道状态,即使用户信道状态很差时仍然为其分配资源进行传输,导致误码率增加,系统吞吐量降低。

从图 6 中可以看出,比例公平算法会一定程度上抑制边缘用户的吞吐量,使用比例公平算法时边缘用户获得的调度机会少于使用轮询算法,也就是说轮询算法的公平性要优于比例公平算法。

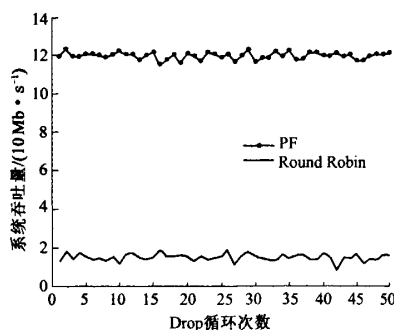


图5 系统吞吐量比较

Fig. 5 Comparing of system throughput

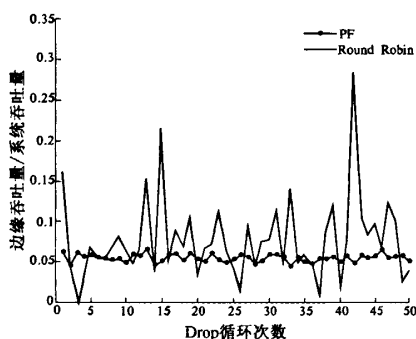


图6 小区边缘吞吐量与系统吞吐量的比值

Fig. 6 The ratio of edge users throughput to system throughput

5 结论

笔者给出了LTE-Advanced系统级仿真设计和建模的方法,并在VISUAL STUDIO 2008环境下搭建了LTE-Advanced系统级仿真平台,通过比较正比公平和轮询两种调度算法,评估了平台的性能.通过仿真结果可以看出,该系统级仿真平

台达到了系统设计的要求.利用该仿真平台,可以对研究中的新技术和新算法进行快速、直观的验证和评估,节省了新技术开发的成本和周期. LTE-Advanced系统级仿真平台可以用来辅助研究LTE-Advanced中各种技术和算法的性能,推动无线通信技术的发展和无线资源管理新算法的提出,从而给无线接入的用户提供更好的服务体验.

参考文献

- [1] 彭木根,王文博.无线资源管理与3G网络规划优化[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [2] 3GPP. TR36. 913 Requirements for further advancements for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) (LTE-Advanced)[S].
- [3] 沈嘉,索士强.3GPP长期演进(LTE)技术原理与系统设计[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [4] WANG Y Y, PEDERSEN K I. Resource allocation considerations for multi-carrier LTE-Advanced systems operating in backward compatible mod[C]. Tokyo: PIMRC 2009, 2009: 370-374.
- [5] CHEN LI, CHEN W W, ZHANG X, et al. Analysis and simulation for spectrum aggregation in LTE-Advanced system[C]// Anchorage: VTC 2009-Fall, 2009: 1-6.
- [6] HOU X L, ZHANG Z. DMRS design and channel estimation for LTE-Advanced MIMO uplink[C]// Anchorage: VTC 2009-Fall, 2009: 11-15.
- [7] 3GPP. TS 25. 814 Physical layer aspectS for evolved Universal Terrestrial Radio Access(UTRA)[S].
- [8] 3GPP. TS 25. 996 Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) Simulations[S].
- [9] 3GPP. TS 25. 892 Feasibility Study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN Enhancement[S].

A Design Method of System Level Simulation for LTE-Advanced

LU Zhao-ming, WEN Xiang-ming, ZHAO Yan-kun, ZHENG Wei

(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: According to the 3GPP requirements for 4G wireless communication system performances, through modeling, the LTE-Advanced wireless simulation platform has been designed and built. This simulation platform includes geographical topology, Wrap-around, large small scale fading, adaptive modulation and coding, interference calculation, packet scheduling and HARQ module, etc. In the process of modeling simulation platform, the Monte Carlo method has been used. Through repeated random independent sampling on system performance, statistical performance is regarded as an effective result. Finally LTE-Advanced system level simulation platform is built in VISUAL STUDIO 2008, and the performance of simulation platform is estimated by comparing Round Robin and Proportional Fair scheduling algorithm. In terms of the results of simulation, the performance indices of simulation platform satisfy the 3GPP system requirements.

Key words: LTE-Advanced; system-level simulation; 3GPP; HARQ; packet scheduling