

宽带码分多址移动通信系统的系统级性能仿真

杨 光, 杨大成, 李 璐, 郭进军

(北京邮电大学93信箱, 北京 100876)

摘 要: 本文针对未来宽带蜂窝移动通信系统的性能仿真方法, 提出了仿真中数学建模的基本原则、各类基本模型, 及构成宽带移动通信仿真系统的主要方法, 并介绍了一种特定环境下的系统性能仿真软件平台. 同时给出了部分仿真结果及其数据分析.

关键词: 移动通信; 系统仿真; 系统建模; 仿真模型

中图分类号: TN914.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 04-0464-07

The System Level Simulation of Wideband CDMA Mobile Communication System

YANG Guang, YANG Da-cheng, LI Lu, GUO Jir-jun

(Beijing University of Posts and Telecommunications, P. O. Box 93, Beijing 100876, China)

Abstract: The paper mainly aims at the simulation methods for the performance of the future mobile communication system. The fundamental methods for structuring the wideband mobile communication system, as well as the key points of simulation — basic principles and methods of mathematical modeling, primary models of the simulation system are presented. Furthermore, the implementation of system level simulation in a particular environment is discussed, and some simulation results and the analyses are presented.

Key words: mobile communication; system simulation; system modeling; simulation model

1 引言

近十年来, 移动通信技术取得了突飞猛进的发展, 以 CDMA 技术为主要空中接口技术的第三代移动通信系统的研发和试验正蓬勃展开. 但由于移动通信系统本身的复杂性, 很难对其整体性能作出精确的理论分析, 例如文[1]和文[2]中对 CDMA 系统容量的分析都是建立在大量严格假设的基础之上的, 与实际系统环境尚存在一定距离. 而近年来, 随着计算机性能的不断提 高, 采用计算机仿真方法作为移动通信系统性能验证和设计实现的工具已经成为当今国内外移动通信系统与关键技术研究开发的重要技术手段, 也是技术发展状况的重要标志. 基于仿真平台进行网络服务区规划也是当今移动通信网络建设和部署的基本方法和重要手段. 例如文[3~5]中都提出将计算机仿真作为系统性能评估和研究的主要手段. 但是, 上述文献并未对必要的仿真方法作出描述, 而仿真方法又会影 响仿真结果的准确性. 本文结合对宽带移动通信系统不同方案的评估工作, 对移动通信系统的系统级性能仿真进行了初步的研究, 提出了我们的仿真方法, 并给出了相应的仿真结果.

根据对移动通信系统进行仿真研究的基本过程, 本文首先阐述了 CDMA 移动通信系统仿真中系统建模的基本原则. 然后, 以车辆环境、话音业务的移动通信系统为例, 具体描述

了相关模型, 并讨论了根据基本模型构成仿真系统的原则和方法, 最后给出了部分仿真结果及相应分析.

2 系统建模原则

系统建模是移动通信系统仿真中的关键阶段, 该过程直接决定了仿真结果的准确性、仿真平台复杂度和所需的计算机资源. 所以, 必须根据一定的原则进行建模工作, 以保证获得模型准确性与复杂度的平衡, 这些原则包括:

① 功能的分割性原则. 移动通信网整个服务目标的实现需要一系列功能实体的参与和协同. 因此, 要将移动通信网的整体服务目标按一定的需求功能进行分割, 根据各个功能实体的特性与服务要求, 抽象出相应模型.

② 网络结构与协议的分层性原则. 实际的移动通信网就是一个有复杂结构的网络, 本文在仿真中也必然要反映出这种层次关系. 在建模过程中, 需要注意各个模型间的层次关系以及如何将这些层次关系反映到各模型之间的接口上去.

③ 功能模型的适应性和可扩充性原则. 作为移动通信网络的仿真和规划软件, 各个功能模型必须能适应由空中接口技术的发展和网络功能的扩充而引起的对模型要求的变化.

根据这些原则结合系统仿真的实际情况, 在建模时首先对需要仿真的网络部分分割和分层, 然后根据仿真需要和各个功能实体的不同特点, 建立相应的仿真模型. 这里, 我们以车

辆环境下提供语音服务的 CDMA 系统为例, 给出各个功能模型, 及仿真系统方案。

3 系统仿真基本模型

3.1 仿真环境的小区模型

仿真环境的小区模型表征了实际系统的服务区规划方案, 典型模型有三种, 分别是: 车辆环境(Macro cell)模型、街区环境(Micro cell)模型和室内环境(Pico cell)模型。本文中, 重点描述车辆环境模型, 对其它两种模型不详细介绍。

3.1.1 车辆环境模型 借鉴文[4]中 B.1.6.4.3 节的相关描述, 提出了具有自己特点的小区模型。该模型采用典型的六边形小区配置方案, 基本设计原则是以有限大的表达区域模拟无限大的实际应用环境, 每一个小区以相对于原点的二维坐标标识, 如图 1 所示。

此模型的优点在于它既简化又真实地反映了实际系统:

(1) 通过在仿真区域外的一圈补充小区来模拟无限大的系统区域, 这就简化了实际系统; (2) 此模型相当于一个球体环境, 仿真时不用担心用户进入“死区”, 用户可在区域内自由运动, 这就真实的再现了实际系统。该模型适用于城市郊区

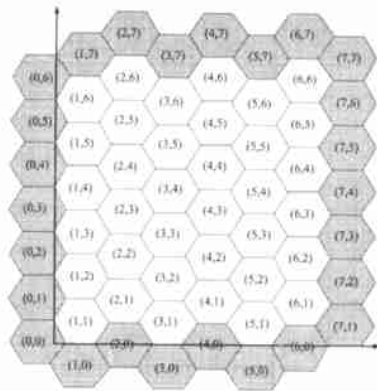


图 1 车辆环境的小区模型

和高速公路沿线等以车辆用户为主的环境。

仿真中实际使用的小区数目是 6×6 , 在图中表示为未画阴影的部分。外面一圈阴影区域中的每一小区均与非阴影区域的一边缘小区相对应, 是为模拟无限大区域而作的补充小区。从这个角度看, 上图可看成一个球体的平面图展开。

3.1.2 街区环境模型和室内环境模型 街区环境模型可以以 Manhattan 街区为典型模型, 每一个小区以相对于原点的二维坐标标识, 标出基站的纵向和横向(街道的走向)方向。整个覆盖区是一个闭合区, 在覆盖区内用户数量保持不变, 当用户流出覆盖区时, 在小区要产生相同的用户数量。该模型适用于用户密集的市中心区域。

室内环境模型以大型办公室建筑为典型模型, 在宽敞的开放式的楼层平面上, 分布着由活动挡板分隔的办公室, 办公室之间有走廊连接。用户在楼层内运动, 基站位于办公室内。该模型适用于用户密集的室内服务区。

以上两种模型的小区模型示意图见文[4]中的图 1.3.2.1.B 和图 1.3.2.1.A。本文中不再详细描述。

3.2 传播模型

由于 CDMA 系统具有干扰受限的特性, 传播模型在系统的规划与设计中的重要地位, 将为 CDMA 系统的干扰预算、覆盖规划、容量分析等提供依据。传播模型分为路径损耗模型和阴影衰落模型两部分。

3.2.1 路径损耗模型 根据文[3]中有关传播模型的定义,

同向天线间总的传播损耗 L (dB) 为自由空间损耗 L_{fs} 、从建筑物屋顶到街道平面的绕射损耗 L_{rts} 及从基站天线经过建筑物阵列的多网格的绕射损耗 L_{msd} 之和, 可表示为:

$$L = L_{fs} + L_{rts} + L_{msd} \quad (1)$$

当移动台到基站间距离 R 给定时, 它们之间的 L_{fs} 为:

$$L_{fs} = -10 \log_{10}(\mathcal{N} 4\pi R)^2 \quad (2)$$

从建筑物屋顶到街道平面的绕射引起的 L_{rts} 为:

$$L_{rts} = -10 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] \quad (3)$$

其中: $\theta = \tan^{-1}(|\Delta h_m|/x)$; $r = \sqrt{(\Delta h_m)^2 + x^2}$; Δh_m 是建筑物平均高度与移动台天线高度差; x 是移动台与最近建筑物的水平距离。

一般情况下, 从基站天线经过建筑物阵列的 L_{msd} 为:

$$L_{msd} = -10 \log_{10}(Q_M^2) \quad (4)$$

其中, Q_M 是依赖于基站天线相对高度(低于或高于建筑物平均高度)的因子。

对于车辆环境, 基站天线的高度高于建筑物的平均高度, 此时:

$$Q_M = 2.35 \cdot \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{0.9} \quad (5)$$

其中: d 为相邻两建筑物间的平均距离; Δh_b 为基站天线高度与建筑物平均高度差。则, 总的路径传播损耗变为:

$$L = -10 \log_{10} \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[(2.35)^2 \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{1.8} \right] \quad (6)$$

在建筑物环境下的测量表明, 路径损耗与 Δh_b 约为线性关系。则上式可修改为:

$$L = -10 \log_{10} \left[\left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[(2.35)^2 \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{1.8} / R^{2(1 - 10^{-3} \Delta h_b)} \right] \quad (7)$$

在典型的郊区或建筑物的平均高度为四层的市区环境下, $\Delta h_m = 10.5\text{m}$, $x = 15\text{m}$, $d = 80\text{m}$, 式(7)可化简为只依赖收发信机间的距离 R (km)、 Δh_b (m), 及频率 f (MHz) 的函数:

$$L = [40(1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b)] \log_{10}(R) - 18 \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \log_{10}(f) + 80\text{dB} \quad (8)$$

需要注意的是, 此模型同样只对非视线距离时有效, 描述的是最坏的传播环境。 Δh_b 的有效范围为 0 到 50 米。

在街区环境下, 基站天线高度接近建筑物平均高度, 此时式(5)可表示为:

$$Q_M = d/R \quad (9)$$

总的传输损耗可表示为:

$$L = -10 \log_{10} \left[\left(\frac{\lambda}{2\sqrt{2}\pi R} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 \right] - 10 \log_{10} \left[\left(\frac{d}{R} \right)^2 \right] \quad (10)$$

在典型环境下, $h_m = 10.5\text{m}$, $x = 15\text{m}$, $d = 80\text{m}$, 式(10)简化为仅依赖于 R (km) 和 f (MHz) 的式子:

$$L = 40 \log_{10}(R) + 30 \log_{10}(f) + 49 \quad (11)$$

室内环境的路径损耗模型基于 COST 231 模型, 可参考文献 [3] 和 [4], 本文中不再做详细描述.

在实际的计算机仿真中, 根据式 (8) 或 (11), 首先确定参数 f 和 Δh_b , 而后在动态仿真过程中, 根据移动台与基站的坐标, 计算出 R , 最终得出路径损耗值.

3.2.2 阴影衰落模型 由文 [1~4] 中的定义, 采用对数高斯分布的随机过程来模拟阴影衰落, 该阴影衰落模型适用于上述的三种典型服务区环境, 其均值均为 0, 但对于不同模型, 其标准差不同. 对于室外模型为 10dB, 室内模型为 12dB.

由于阴影衰落的值与用户位置有关, 地理上不同点的阴影衰落之间存在着一定的相关性. 该相关性可用 ARMA(1, 1) 模型表示^[7]:

$$S_n = \rho S_{n-1} + \sqrt{1-\rho^2} a_x \quad (12)$$

其中: S_n 为当前点的阴影衰落值; S_{n-1} 为上一节点的阴影衰落值; a_x 为与 S_{n-1} 独立的符合对数正态分布的随机变量, 其均值、方差根据仿真模型要求确定; ρ 为 S_n 与 S_{n-1} 的相关系数, 它是一个与两点间距离有关的函数, 可表示为^[4]:

$$\rho = e^{-(1/\Delta x)(d_{cor}) \ln 2} \quad (13)$$

其中: Δx 为两点间距离; d_{cor} 为相关距离, 在车辆环境下, $d_{cor} = 20\text{m}$; 街区和室内环境下, $d_{cor} = 5\text{m}$. 在对用户移动离散化时, 应使两个位置之间的距离, 即 Δx 小于相关距离.

3.3 业务模型

在移动网络的仿真中, 考虑了三种用户业务: 实时业务如话音业务; 非实时业务如电路交换的数据业务和分组交换的数据业务.

3.3.1 话音业务 话音业务模型是典型的生死 (on/off) 过程. 模型的基本要素包括: 试呼率、呼叫持续时间、信道数、服务等级. 其中, 用户试呼行为是强度为 λ (用户数/秒) 的泊松过程, J 次来话到达的概率可表示为:

$$p_j(\lambda) = \frac{(\lambda)^j}{j!} e^{-\lambda} \quad (14)$$

呼叫持续时间服从负指数分布, 其描述本地呼叫通话时间的分布函数为:

$$F(T) = 1 - e^{-\lambda T} \quad (15)$$

式中参数 λ 和 T 分别表征了用户呼叫强度和平均服务时长, 需要在仿真前确定. 在仿真中, 我们使用随机函数库, 根据上述分布及其参数, 产生随机数模拟用户业务的产生.

3.3.2 电路交换的数据业务 其模型与话音业务相似, 以泊松分布的概率进入系统, 服务时长服从指数分布. 区别在于, 话音业务用户存在话音激活系数 (见用户行为模型), 而电路交换的数据业务的激活比例为 100%.

3.3.3 分组交换的数据业务 据文 [4] 中 B.1.2.2 定义, 以 WWW 浏览器的一个呼叫过程的业务模型为例. 用户呼叫由泊松分布产生, 一个用户接洽或会晤由几个包呼叫组成, 每个包呼叫又包括多个数据包. 用户呼叫的数据包流可由以下 6 个随机变量来描述:

- ⑤ 用户呼叫到达过程: 按强度为 λ_u 的泊松过程设计.
- ⑥ 包呼叫的个数: 按均值为 μ_{nc} 的几何分布设计.
- ⑦ 包呼叫的间隔时间: 按均值为 μ_{dc} 的几何分布设计.

⑧ 数据包的个数: 按均值为 μ_{nd} 的几何分布设计.

⑨ 数据包的间隔时间: 按均值为 μ_{dt} 的几何分布设计.

⑩ 数据包的大小: 按经截短的 Pareto 分布设计.

3.4 用户行为模型

用户行为分为用户主观行为表达和网络协议规定表达两类, 本文仅涉及主观行为表达模型.

3.4.1 移动方式模型 移动方式模型描述用户移动的随机运动轨迹, 反映用户在某一时刻的位置、运动方向、所处的小区等, 该模型与小区环境有密切关系. 可以由一系列的随机过程及其初始参数表征. 其参数包括: 初始特性 (起始位置、运动方向, 以及运动速度); 运动中的特性 (位置的变化、运动方向, 以及速度); 目的地特性 (最终变化、运动方向, 以及速度) 等.

由于在目前的系统级仿真研究主要集中于车辆环境, 所以本文中只对车辆环境的移动方式模型进行详细描述, 街区环境和室内环境的移动方式模型可以参见文 [4] 中的 B.1.6.4 节. 车辆环境下移动方式模型, 用户可在整个服务区内以恒定的速度完全自由地移动. 假定: ① 用户的交通量密度与它的地理位置彼此无关 (即相互独立), 交通量密度等于用户地理坐标的分布; ② 只研究由业务量模型产生的激活用户的运动轨迹和运动方向; ③ 用户的运动轨迹是伪随机移动性模型, 运动方向不是全向的.

移动台在地图上均匀分布的, 其方向在初始化时随机选定. 每隔一定时间, 移动台的运动方向就可能更新一次. 其运动方向改变的概率见下, 且它独立于前一次方向改变事件. 若要改变运动方向, 则其运动角度的变化服从在正负 45 度内的均匀分布. 移动方式模型的参数如下: 速率: 120km/h; 运动方向变化的最大角度: 45°; 位置更新时运动方向改变的概率: 0.2; 非相关距离: 20m.

3.4.2 话音业务用户的话音激活 对于话音业务用户, 在通话过程中, 有相当大比例的时间是不说话的. 即用户通话行为由“激活”和“沉默”两个状态组成, 处于“激活”状态的时长与总时长的比值称为话音激活系数. 通常话音激活系数设为 0.45. CDMA 系统正是利用用户通话行为的这一特点, 在用户处于“沉默”状态时, 降低发射功率, 从而增加系统容量.

在实际的计算机仿真中, 每一个仿真步长, 使用随机函数库产生相应的随机数对上述两种用户行为模型进行模拟.

3.5 功率控制

CDMA 系统中上行链路的功率控制包括开环功控、闭环功控和外环功控三部分.

开环功率控制: 移动台根据接收机的 AGC 放大器的增益, 自动调整发射功率. 由于上、下行频率不同, 其信道环境也不一致, 所以此种功控方式精度较低, 不能单独满足系统对功率控制的需求.

闭环功率控制: 基站根据接收到的信号质量, 向移动台发出功率调整指令, 移动台根据该指令, 调整发射功率, 使之满足服务质量的要求. 快速的闭环功率控制是 CDMA 系统的关键技术之一, 对系统容量有显著影响.

外环功率控制: 系统根据不同移动台所处环境和服务质量的变化, 调整其相应的服务目标 (如, 目标 E_b/N_0 或 SIR).

可以认为, 开环功控和闭环功控是针对于某个特定的移动台, 优化它的发射功率. 而外环功控是从系统的角度实现资源的配置与优化.

在仿真研究中, 重点研究了闭环功控对系统容量的影响, 采用了理想的功控模型, 具体算法可用下式表示:

$$p_i(t+dt) = \frac{[C/(N_0+I_0)]_{t \text{ 目标}}}{[C/(N_0+I_0)]_t} p_i(t) \quad (16)$$

其中: $p_i(t)$ 是 t 时刻的功率; dt 是仿真时间步长; $p_i(t+dt)$ 是 $t+dt$ 时刻的功率; $[C/(N_0+I_0)]_{t \text{ 目标}}$ 是目标 $C/(N_0+I_0)$; $[C/(N_0+I_0)]_t$ 是 t 时刻的 $C/(N_0+I_0)$.

根据式 (16), 通过把 t 时刻的载波干扰比与目标值进行比较, 计算出在下一时刻的最佳发射功率. 该功控算法没有考虑功控步长的问题, 而是一步即调至理想值, 故称之为连续式功控. 在仿真中, 没有考虑由于功控比特误差和功控时延造成的性能损失.

3.6 软切换算法模型

仿真中根据各个小区的公共参考信号, 使用相对门限切换模型, 其示意图如图 2.

如上图所示, 若用户接收到的某小区的参考信号与软切换激活集中最强的参考信号的差值小于加入门限, 则该小区加入到激活集中, 若激活集中某小区的参考信号强度与最强值的差值大于去掉门限, 则从激活集中去掉该小区.

3.7 服务质量模型

服务质量模型完成系统仿真中用户服务质量和系统服务等级等性能指标的评价, 是获得仿真结果、判定系统性能的重要模型. 仿真中首先判定各个不同用户的服务质量, 然后统计大量用户的服务质量, 获得整个系统的服务等级, 进而得到在这种服务等级下的系统容量/频谱效率, 或者反过来, 根据系统容量/频谱效率要求, 得到系统的服务等级和用户的服务质量要求, 以此评估和规划设计 CDMA 无线移动通信网络.

系统服务等级包括话务阻塞概率, 低服务质量概率, 掉话概率等.

①话务阻塞概率

话务阻塞是在一个小区内, 由于业务量过大, 信道数不够引起的. 它根据话务阻塞公式 Erlang B (阻塞呼叫清除 (BCC)) 和 Erlang C (阻塞呼叫延迟 (BCD)) 获得. Erlang B 公式对实时的话音业务适用, Erlang C 对非实时的分组数据业务适用.

②掉话率和低服务质量率

低服务质量概率和掉话概率与 CDMA 系统的“软容量”特点有关. 对于某个特定用户, 其载波干扰比在整个通话时间内, 应在目标值附近波动. 对于某种业务类型, 可为载波干扰

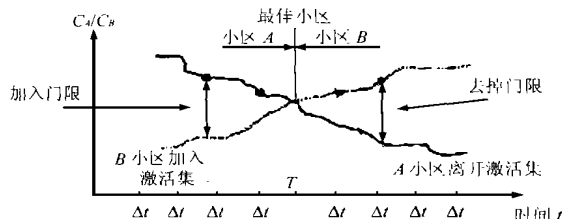


图 2 相对门限软切换算法示意图

比设定一个门限值. 若用户 C/I 值连续低于该门限的时间超过一定限度, 则判定该用户掉话. 若用户为发生掉话, 但在整个通话时间内的低服务质量时间比例超过规定值, 则认为该用户为低服务质量用户. 否则, 为服务满意用户.

根据上述用户服务质量的统计算法, 通过长时间的动态仿真, 即可得到整个系统中大量用户的用户掉话率、低服务质量率和满意率等指标.

4 仿真系统的构成

本节讨论如何应用这些模型构成仿真系统. 在构造过程

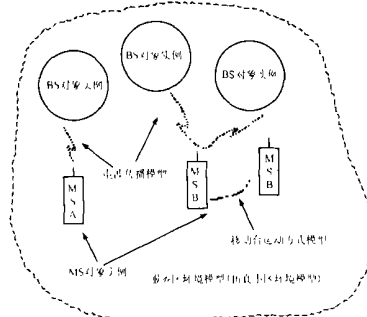


图 3 仿真系统的物理实体结构图

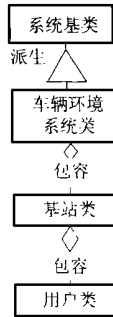


图 4 仿真软件平台类关系图

中, 需要参考实际系统的结构, 根据协议分层和功能分割的原则, 利用面向对象的理论, 确定仿真系统的结构. 对于移动通信系统的无线接入部分, 按照物理实体进行抽象, 可得如图 3 所示的层次结构.

在该结构中, 仿真环境小区模型是顶层, 模拟了实际系统的服务区环境, BS (基站)、MS (移动台) 等功能实体均存在于其中. 根据 BS、MS 等的特性建立相应的对象, 将这些对象的实例置于仿真小区环境模型中, 从而构成了仿真系统的整体结构. 实际工作中, 使用 C++ 语言, 根据上述思路, 定义了系统基类、车辆环境系统类、基站类和用户类, 把相应的数据及其操作方法封装入对应类中, 并根据图 3 所示的结构, 确定各个类之间的相互关系, 如图 4 所示.

在上述结构中, 还

包括了传播模型和移动

台的运动方式模型等.

但它只反映了移动网物理上的层次结构, 以及

BS、MS 等物理实体的物理特性, 这些还不足以

仿真移动通信系统中的

RIT 关键技术和网络协议对系统性能的影响.

为达到这一目的, 还应进一步对各个仿真模型

进行组合, 其结构图如图 5.

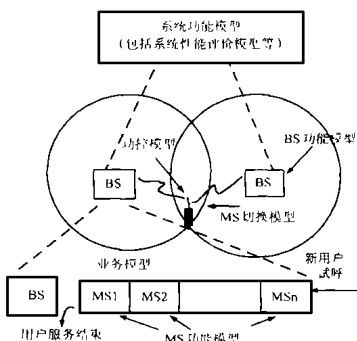


图 5 仿真系统的功能结构图

图 5 反映了仿真系统对移动通信网各主要功能的模拟. 其顶层是系统功能模型, 第二层是 BS 功能模型, 第三层是 MS

功能模型. 系统功能模型主要包括系统性能评价模型, 由其对系统性能、系统内用户获得的服务质量进行统计评价. 系统的业务模型实际上也是针对系统设计的, 但是它的实现要最终落实到各个基站控制的小区范围内, 并且与移动台的行为有关, 所以我们可以将业务模型分布于不同层次中. 比如, 可以在系统顶层实现用户的接纳控制, BS 中实现用户服务排队的控制, MS 中实现服务时长和服务质量的计算. 对于切换算法模型、功率控制算法模型也都分别归入 BS 和 MS 中.

把上述两种结构相结合, 即形成了层次化的仿真系统. 最高层是系统的主要功能和小区环境模型的结合, 第二层是将物理特性和功能特性结合的 BS 对象, 第三层是同样将物理特性和功能特性结合起来的 MS 对象. 这些对象对应至图 4 中的各个类中, 构成了类的数据和方法, 具体描述如下:

⑤ 系统基类 找出各种测试环境的共同点, 形成基类, 从中可以派生车辆测试环境、街区测试环境、室内测试环境等, 便于系统的扩展. 系统基类中主要包括有关服务质量评价的实现算法和其它在各种测试环境下公共的成员变量及成员函数, 分别对应各种测试环境的参数属性和实现方法.

⑥ 车辆环境系统类 该类从系统基类派生而来, 在这个类中主要包括了上节中描述的车辆环境下仿真环境小区模型、话音业务模型、移动性模型和切换算法实现所需的主要的数据和函数, 以及在每个仿真步长中仿真系统所需仿真流程, 以达到车辆环境、话音业务仿真的特定要求. 在车辆环境系统类中包容了基站类对象, 对应于实际系统中由小区基站构成蜂窝移动通信网, 以一个二维数组对应于基站在仿真环境小区模型中的二维位置.

⑦ 基站类 基站类主要模拟小区基站的功能, 主要包括对基站的属性进行初始化和操作, 如初始化基站的序号、坐标、导频功率、可用信道数, 为进入小区的用户分配信道等. 基站类中将包容用户类的对象, 对应于实际系统中每个小区基站控制的移动用户. 基站类中包容的用户类对象形成一个链表, 新用户进入对应于在链表中加入对象, 用户通话终止对应于将其从链表中删除.

⑧ 用户类 用户类主要模拟 CDMA 移动用户的功能, 包括移动用户的属性和实现方法. 如: 用户 ID、所在小区、坐标、运动方向、服务时长、进入系统时间、发射功率、用户 C/I 值等等. 由于路径损耗和阴影衰落的计算都与移动台的位置相联系, 所以我们将传播模型的实现归入用户类中. 功率控制算法和话音激活的处理也在用户类中实现. 另外, 用户类中还要对用户所获得的服务质量做相关的统计工作.

以上述类的功能与相互关系为基础, 把各个模型动态地链接到一起, 就构成了移动通信系统的动态行为仿真平台.

5 仿真结果及分析

5.1 仿真的基本假设与主要参数

系统仿真中的假设条件如下: 每用户话务量: 0.025~0.03Erl; 阻塞率: $\leq 5\%$; 信道数: 不假设; 载波数: 1 载波/小区; 天线方式: 全向天线; 载波间隔: 5MHz; PN 码速率: 4096kbps; ITU-T 的 M. 1225 所规定的假设条件.

主要参数如表 1 所示.

表 1 仿真主要参数表

业务类型	话音	链路级比特率	8kbps
频段	2GHz	移动台速度	120km/h
扩频码速率	4096kbps	处理增益	27.1dB
链路级目标 E_b/N_0	5dB	天线端 C/I	-22.1dB
MS 最大功率	24dBm	功率动态范围	80dB
接收滤波器带宽	5MHz	噪声功率谱密度	-169dBm/Hz
阴影衰落标准差	10dB	不相关距离	20m
用户呼叫强度	1/3600s	平均通话时长	120s
话音激活系数	0.45	切换门限	3dB
低服务质量门限 E_b/N_0	4.5dB	掉话的低服务质量时长	5s
低服务质量的时长门限	5% * 总服务时长	移动台运动速度	120km/h
运动方向改变概率	0.2	最大运动方向改变角度	45°

5.2 仿真结果及分析

针对车辆环境下话音业务模型的上行链路情况做了以下的仿真工作.

5.2.1 不同小区半径下的系统负载 针对不同小区半径条件下的系统负载情况进行了仿真, 其结果如图 6 和表 2 所示.

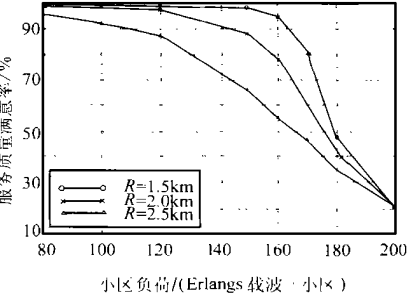


图 6 不同小区半径下的系统负载与用户满意率的曲线

表 2 98% 满意率条件下的负载、切换率与小区半径关系表

	负载 (Erlang)	切换率 (%)
$R = 500m$	165	48.55
$R = 1000m$	165	20.31
$R = 1500m$	150	13.59
$R = 2000m$	100	8.35

由上述数据可以发现, 适当减小小区半径可以提高系统容量. 可以认为, 当小区半径减小后, 小区内的移动台到达基站的路径损耗大大降低, 在相同的阴影衰落参数下, 满足一定覆盖效率所需的发射功率将下降. 这样, 一方面可以减少由于发射功率动态范围受限造成的低服务质量现象, 提高系统满意率; 另一方面, 小区内所有移动台的平均发射功率也将下降 (可以参见下面关于移动台发射功率的数据曲线), 对相邻小区的干扰功率也大大下降. 对于干扰受限的 CDMA 系统, 某个用户所受的干扰值可以表示为:

$$I = (N - 1)C\gamma + FNC\gamma \tag{17}$$

其中: N 为小区中的用户数 (假设用户均匀分布); C 为用户到达基站的功率 (假设功控使所有用户的 C 均一致); F 为相邻小区移动台干扰对本小区移动台干扰的比值; γ 为话音激活系数. 则有

$$I/C = (N - 1)\gamma + FN\gamma \approx N(1 + F)\gamma \tag{18}$$

可得:
$$N = \frac{I}{C} \cdot \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{1}{1 + F} \tag{19}$$

在实际系统中, 移动台处于“沉默”状态时, 仍需发射维持控制信道所需的一定比例的功率, 假设该比例为 1/3. 所以, 对于话音激活系数 $\gamma = 0.45$, 可得等效话音激活系数 d :

$$d = \gamma \cdot 1 + (1 - \gamma) \cdot \frac{1}{3} = 0.633 \quad (20)$$

可见, 当目标 C/I 、 γ 一定时, F 减小将使 N 增大. 而减小小区半径可使 F 减小, 而增加容量, 仿真结果如表 3 所示.

表 3 不同小区半径下的 F 与容量表

	F	由式(21)所得 N	仿真所得 N
$R = 2000\text{m}$	1.554	100	98
$R = 1500\text{m}$	0.7203	148	146
$R = 1000\text{m}$	0.5627	164	162
$R = 500\text{m}$	0.5984	160	162

由表 3 可以发现, 仿真结果与设想基本相符. 适当减小小区半径可以提高系统容量, 但是这一提高是以增加系统切换负荷为代价的, 由表 2 可以发现, 随小区半径减小, 移动台切换率显著增加, 这样将增大整个系统的信令负担, 影响网络性能. 同时, 当小区半径足够小后, 系统容量即基本保持不变, 其覆盖效率几乎达到 100%. 这时的系统容量主要受系统中 I_0/N_0 的限制^[1](参见下面讨论). 在实际系统设计中, 应结合覆盖要求、用户密度、服务等级和系统成本等要求, 协调考虑小区的大小.

5.2.2 I_0/N_0 、平均 C/I 与负载、满意率的关系 为保证系

统的稳定性, 要求对总的接收噪声加干扰功率与背景噪声之比进行限制^[1,2], 即

$$I_0/N_0 < 1/\eta, \quad \eta < 1 \quad (21)$$

其典型值为 $\eta = 0.25$ 至 0.1, 相应于 I_0/N_0 为 6dB 至 10dB. 在仿真中发现, I_0/N_0 与系统负载存在较好的对应关系. 当 $I_0/N_0 < 10\text{dB}$ 时, 在不同小区半径条件下, 相同的负载数一般能对应相同的 I_0/N_0 值(见图 7). 从图 6 可见, 不同小区半径下, I_0/N_0 与用户服务质量对应的并不好. 这是由于当小区较大时, 系统容量不但受干扰电平的限制, 还要受到移动台发射功率动态范围的限制, 所以小区半径较大时 I_0/N_0 值与服务质量对应的并不是很好. 但是, 由图 8 可以看出, 不同小区半径下, 平均 C/I 值与用户的服务质量(满意率)总有较好的对应关系. 这样, 可以根据 I_0/N_0 判断小区的负载情况, 而根据平均 C/I 判断用户的服务质量情况. 对于 CDMA 系统独有的软容量和呼吸特性, 我们认为如果以 I_0/N_0 作为小区“呼吸”的依据, 虽然能较准确的反映系统负载, 但在不同小区半径下, 并不能准确的反映出用户的服务质量. 而小区“呼吸”的依据应是小区中用户的服务质量, 所以可认为, 如果以平均 C/I 作为小区“呼吸”的依据, 可能更符合移动通信系统的设计目标. 当然, 平均 C/I 测量要比 I_0/N_0 复杂, 且测量精度也可能偏低, 这些都需要在今后的工作中进一步研究.

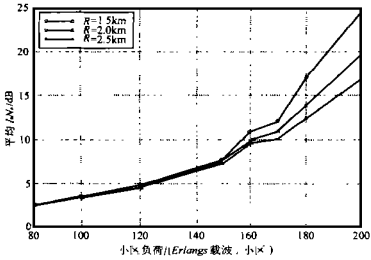


图 7 I_0/N_0 与小区负载的关系曲线

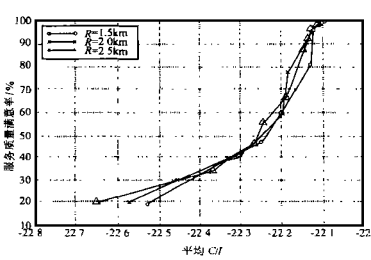


图 8 平均 C/I 与用户满意率的关系曲线

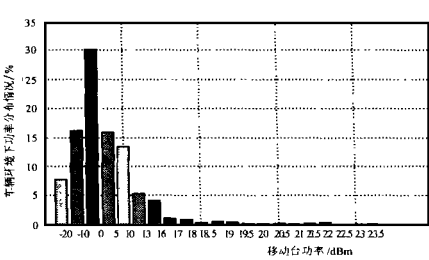


图 9 小区半径 2km, 负载 100E 时的移动台发射功率统计图

5.2.3 移动台平均发射功率的统计

由图 9 可以发现, 在 CDMA 系统中, 移动台发射功率主要集中在 -20dBm 至 10dBm 之间, 其中在 -10dBm 至 0dBm 之间的比例最大. 该统计结果可以为 CDMA 系统的网络规划和移

动台的设计制造提供参考依据. 而由图 10 可发现, 随小区半径减小, 移动台发射功率的统计值向低端移动, 说明小区半径减小使移动台平均发射功率减低, 降低了对其他移动台的干扰, 从而使系统容量增加.

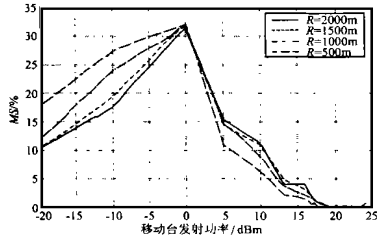


图 10 不同小区半径下, 98% 用户满意率, 移动台发射功率统计图

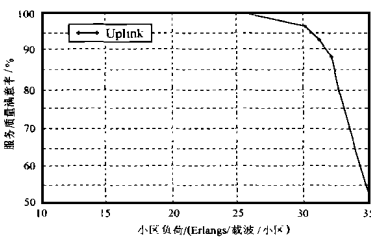


图 11 IS-95 上行链路容量图

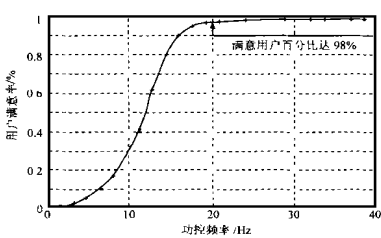


图 12 一定负载下功控频率与用户满意率的关系

5.2.4 IS-95 系统的仿真结果

为检验仿真模型和仿真软件平台的准确性以及便于将宽

带系统的性能与以 IS-95 为代表的窄带 CDMA 系统进行比较, 使用已建立的仿真平台, 根据 IS-95 系统的要求和参数, 对 IS-

95 系统进行了仿真. 其容量与用户满意率曲线如图 11. 由图中可以发现, 在用户满意率大于 95% 的条件下, 系统容量大约为 30Erlangs/载波/小区. 这一结果与目前正在使用的 IS 95 商用网络的理论容量是一致的, 从而验证了所建立的各个仿真模型及整个仿真软件平台的准确性和可信性. 另一方面, 仿真结果表明, 宽带系统的容量远远大于窄带 CDMA 系统, 从而证明了宽带 CDMA 系统较之窄带系统的巨大优越性.

5.2.5 功率控制的收敛问题

由图 12 可以发现, 一定负载情况下, 用户的满意率随功控频率上升而上升, 当功控频率超过某一值后, 满意率趋于平稳. 这说明, 对于克服阴影衰落和远近效应影响来说, 我们使用的功率控制算法是收敛的. 通过进一步仿真表明, 达到收敛的功控频率随负载不同而略有变化, 负载越大, 所需的功控频率越高, 但只要系统中的 I_0/N_0 低于一定门限(如 10dB), 功控算法就一定可以收敛.

另外, 需要说明的是, 仿真中使用的是 3.5 节中描述的连续理想功控算法, 所以需要的功控频率较低, 当采用步进式功控算法时, 其功控收敛频率将升高.

6 结束语

本文提出了宽带码分多址移动系统的系统建模及构造系统级仿真平台的方法, 依托该平台仿真评估了宽带码分多址移动通信系统的部分性能指标. 我们发现移动通信系统级性能仿真不论对理论研究还是对实际系统的分析与设计都有重大意义. 在仿真中还发现, 尽管码分多址移动通信技术是目前热点技术, 但关于其无线网络设计、规划及性能分析的相关研究并不很多, 尤其是关于系统仿真方法的研究更加少见. 所以, 系统级仿真中还存在许多问题, 有待于进一步的研究.

参考文献:

- [1] Andrew J. Viterbi. CDMA Principles of Spread Spectrum Communication [M]. ADDISON-WESLEY 1995.
- [2] M. Viterbi, J. Viterbi. Erlangs capacity of a power controlled CDMA system [J]. IEEE on selected areas in communication, August 1993, 11 (6).

- [3] Recommendation ITU-R M. 1225. Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT 2000 [S].
- [4] UMTS 30.03, Selection Procedures for the Choice of Radio Transmission Technologies of the UMTS [R], 1998.
- [5] Tero Ojanpera and Ramjee Prasad. Wideband CDMA for Third Generation Mobile Communication [M]. Artech House, 1998.
- [6] Jakes, W. C (Editor). Microwave Mobile Communication [M]. John Wiley & SONS, 1974.
- [7] Di Huo. Simulation slow fading by means of one dimensional stochastic process [A]. Vehicular Technology Conference [C], (VTC'96) 2, 620-622.
- [8] Theodore S. Rappaport, Wireless Communications Principles and Practice [M], Prentice Hall, 1996.
- [9] 孙立新, 邢宁霞. CDMA(码分多址)移动通信技术 [M], 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [10] 3GPP Website, www.3gpp.org [DB/OL].
- [11] WINLAB Website, www.winlab.rutgers.edu [DB/OL].

作者简介:



杨光 北京邮电大学硕士研究生, 主要研究方向为 CDMA 系统的系统级性能仿真和无线资源控制方案.



杨大成 博士, 北京邮电大学教授, 博士生导师. 北京邮电大学电信工程学院无线中心副主任, 北京邮电大学 BUPT-QUALCOMM 联合研究中心中方首席专家, 原邮电部移动通信研究开发中心副主任, 中国电子学会高级会员.