LTE System Simulation 项目

系统级仿真平台建设

技术文档与总结报告

**项目合作开发单位：**

中国电信技术创新中心

北京邮电大学移动通信实验室

概 述

**背景与目标：**

旨在搭建系统级仿真平台，对LTE-A系统中物理层增强的技术和LTE系统中的物理层关键技术进行仿真和性能评估。

**项目时间：**

2011年9月-2011年12月 准备阶段，完成基础平台建设与校准工作

2012年1月-2012年6月 特定平台建设，对所关心的LTE物理层关键技术进行评估

2012年6月-2012年9月 总结完善阶段，完善仿真平台功能

**项目主要参与人员：**

中国电信技术创新中心：

刘洋、杨姗、赵嵩

北京邮电大学移动通信实验室：

牛凯（老师）、许文俊（老师）、黄莹沛、丁忆楠、杨蓓、金雨超、杨一迪、李志成

**项目开发平台：**

系统级SU-MIMO仿真平台，支持TM1、TM2、TM4、TM9，支持RANK自适应，支持PMI/RI/CQI量化反馈

系统级MU-MIMO仿真平台，支持TM8，支持正交用户配对，支持ZF、BD-SVD、SLNR预编码算法，支持PMI/RI/CQI量化反馈

系统级HetNet仿真平台，支持Pico场景

系统级信道建模，支持ITU、SCME信道模型

目 录

[第一章 概 述 5](#_Toc344200301)

[第二章 概要设计. 6](#_Toc344200302)

[2.1 网络架构 6](#_Toc344200303)

[2.2 模块划分 8](#_Toc344200304)

[2.3 仿真假设 10](#_Toc344200305)

[2.4 系统级仿真整体处理流程 11](#_Toc344200306)

[2.5 上下行完全事件处理流程 11](#_Toc344200307)

[第三章 详细设计 13](#_Toc344200308)

[3.1 整体处理流程 13](#_Toc344200309)

[3.2 事件处理流程 13](#_Toc344200310)

[3.2.1 呼叫事件传递操作 13](#_Toc344200311)

[3.2.2 信道刷新 15](#_Toc344200312)

[3.2.3 载干比计算 17](#_Toc344200313)

[3.2.4 L2S接口 21](#_Toc344200314)

[3.2.5 HARQ处理 26](#_Toc344200315)

[3.2.6 信息反馈 28](#_Toc344200316)

[3.2.7 用户调度 32](#_Toc344200317)

[3.2.8 功率控制 44](#_Toc344200318)

[3.2.9 生成数据包 46](#_Toc344200319)

[3.2.10 FTP业务源 47](#_Toc344200320)

[3.2.11 非理想信道估计 53](#_Toc344200321)

[第四章 仿真结果及校准 54](#_Toc344200322)

[4.1 同构网仿真结果及校准 54](#_Toc344200323)

[4.1.1 下行3GPP Case 1的校准 54](#_Toc344200324)

[4.1.2 下行3GPP自评估校准 55](#_Toc344200325)

[4.1.3 下行不同OLLA的仿真结果与分析 71](#_Toc344200326)

[4.1.4 下行不同天线相关性的仿真结果与分析 74](#_Toc344200327)

[4.1.5 下行专利仿真结果与分析 78](#_Toc344200328)

[4.1.6 上行36.814校准 80](#_Toc344200329)

[4.1.7 上行自评估校准 82](#_Toc344200330)

[4.1.8 上行功率控制与IoT的仿真结果与分析 84](#_Toc344200331)

[4.1.9 上行提高MCS准确性不同方案的仿真结果与分析 85](#_Toc344200332)

[4.1.10 上行不同站间距、天线数、检测算法仿真结果与分析 93](#_Toc344200333)

[4.1.11 上行不同调度算法仿真结果与分析 98](#_Toc344200334)

[4.1.12 上行不同天线性能比较仿真结果与分析 101](#_Toc344200335)

[4.2 异构网仿真结果及校准 105](#_Toc344200336)

[4.2.1 Configure1和Configure4b仿真参数 106](#_Toc344200337)

[4.2.2 Configure1仿真结果 106](#_Toc344200338)

[4.2.3 Configure4b仿真结果 107](#_Toc344200339)

[4.2.4 eICIC仿真结果分析 109](#_Toc344200340)

[4.3 FTP业务源仿真结果及校准 110](#_Toc344200341)

[4.3.1 FTP厂商校准 111](#_Toc344200342)

[4.3.2 FTP不同小区数仿真结果与分析 114](#_Toc344200343)

[4.3.3 不同offered load时的对比 118](#_Toc344200344)

[4.3.4 FTP HARQ仿真结果与分析 122](#_Toc344200345)

[4.3.5 FTP OLLA仿真结果与分析 127](#_Toc344200346)

[4.3.6 FTP不同调度算法的仿真结果与分析 129](#_Toc344200347)

[4.4 开销计算 132](#_Toc344200348)

[4.4.1 上行开销计算 132](#_Toc344200349)

[4.4.2 下行TM4开销计算 133](#_Toc344200350)

[4.4.3 下行TM9开销计算 134](#_Toc344200351)

[附录A 参考文献 137](#_Toc344200352)

[附录B 修改记录 138](#_Toc344200353)

# 概 述

本文档主要分为四个章节，其中第二章介绍LTE-SIM平台的概要设计，介绍系统的网络架构、模块划分、仿真假设以及仿真处理流程；第三章则详细介绍了整体处理流程以及整体处理流程中的事件处理流程，重点介绍了事件处理流程中的各个模块的实现和算法第四章详细介绍了LTE-SIM平台的仿真结果及校准。

# 概要设计.

本章分小节依次介绍了网络架构、模块划分、仿真、系统仿真的整体流程和仿真中对呼叫事件的处理流程。在网络架构中，根据同构网络和异构网络的差异，说明了蜂窝式网络的主要特点和网络的基本配置；在模块划分中，根据仿真过程中需要实现的功能将仿真平台划分为几个模块，主要介绍了各模块的功能以及各模块之间如何配合；仿真假设列举了确保仿真能顺利进行的基本前提；整体处理流程主要介绍系统仿真的整体流程图；事件处理流程则介绍系统仿真中的事件处理过程所需进行的操作，包括从呼叫发起到呼叫结束所需要的所有操作流程。

## 网络架构

LTE系统本身仍在讨论和研究之中，目前的网络仿真系统采用传统的蜂窝式网络和异构蜂窝式网络

传统的蜂窝式网络由宏蜂窝小区(macrocell)构成，按照LTE以及LTE-A的要求，其采用蜂窝覆盖的方式，可以从其覆盖的范围将整个仿真区域划分为很多规则的小区，每小区的覆盖半径500m，各个小区还可以进一步划分为功能相对独立的扇区，不同扇区有自己的发射天线和发射功率的限制，每个扇区功能上覆盖小区的一部分，多个扇区一起无缝覆盖整个小区；平台中选用的拓扑区域为三层19小区57扇区结构，每个小区有三个扇区，属于同一个eNB，具体结构如图 2.1‑1所示。



图 2.1—1 LTE同构网络仿真场景

平台中关于小区（Cell），扇区（Sector）的定义与通用的定义方法不同，说明如图所示。



图 2.1—2 拓扑示意图

异构网络，是混合部署了常规的宏基站以及一系列低功率节点的网络。部署在宏蜂窝盲区中的低功率节点，可以增强网络覆盖;部署在宏蜂窝热点小区中的低功率节点，可以拉近网络与终端用户的距离，从而加强链路质量，提高系统容量。异构网络的结构如图 2.1‑3所示：



图 2.1—3 LTE异构网络仿真场景

与同构网络不同的是异构网络只有一个扇区。另外，异构网络中的节点有宏基站（Macro）、微微基站（Pico），其中宏基站可以为终端用户提供开放的公共接入，可以在最大可容忍时延及中断概率的限制下，提供承诺的最小数据速率；微微基站是一种低功率版本的宏基站，装备有全向天线，通常通过网络规划部署在室内或者室外的热点小区;微微基站的覆盖半径为40m。

## 模块划分

整个仿真系统在功能上主要运用了载干比计算、HARQ处理、反馈、多用户调度等各个模块，每个模块的功能相对独立，分别对LTE系统的不同部分进行建模仿真，模块划分尽量保证各模块的独立性，同时也有模块之间的相互调用，如多用户调度模块会调用载干比计算模块的结果来进行用户调度。仿真系统中的具体模块划分如表格 2.2‑1所示：

表格 2.2—1模块划分以及功能说明表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 模块编号 | 模块名称 | 模块功能描述 |
|  | 初始化信息模块 | 完成基本信息配置，以及基本参数的赋值，保证仿真能正确进行 |
| 2 | 呼叫事件控制模块 | 控制呼叫信息在各个呼叫事件链表之间的传递，在呼叫发起前，呼叫事件在发起呼叫链表中，发起呼叫后根据呼叫是否需要切换决定是否要将呼叫事件添加到切换链表中，再根据呼叫的接纳情况将呼叫事件置于呼叫接纳链表中，最后将呼叫结束的呼叫事件放于呼叫结束链表中 |
| 3 | 切换控制模块 | 首先切换测量模块周期性测量用户的链路，如果用户信息中要求切换即切换发生准则满足，则报告产生切换事件，进行切换需要进行的相应处理。 |
| 4 | 接纳控制模块 | 对呼叫事件采取接纳处理，并根据接纳结果完成相应操作，如接纳成功，则统计接纳信息，如果没有接纳成功，则需释放信道以及部分用户内存。 |
| 5 | 信道模块 | 该模块的主要功能为生成用户的大中尺度信道衰落，大中尺度信道，小尺度信道 |
| 6 | 载干比计算模块 | 该模块累计同频干扰，然后计算上下行链路的载干比，其结果为调度和功率控制所用。要同时考虑干扰和噪声影响下的信干噪比的计算。根据不同的接收方式以及MIMO情况计算载干比。 |
| 7 | HARQ控制模块 | HARQ模块用来降低用户的差错率，对接收错误的数据进行混合重传。LTE系统平台中支持自适应与非自适应的HARQ，并且支持常用合并方式IR与CC |
| 8 | 信息反馈模块 | 计算CSI，主要计算使谱效率达到最大时的PMI、RI，根据RANK自适应和非自适应情况有不同的RI计算方式 |
| 9 | 多用户调度模块 | 通过各类算法，实现对用户的调度，以TTI为单位将子载波资源按照一定的调度准则分配给用户使用。 |
| 10 | 数据包生成模块 | 选择HARQ进程，计算可用的RE数，并根据RE数计算可传输的数据包的大小，以此生成数据包 |
| 11 | 功率控制模块 | LTE系统同样需要控制系统的干扰和节省UE的功耗，所以需要进行功率控制，让用户的实际载干比不偏离用户的目标载干比；下行的功率分配也属于功率控制模块。根据信道状况既保证数据能被对方接收，又保证不超过发送端的最大支持功率 |
| 12 | 仿真结果数据统计模块 | 将仿真数据结果输出，以文本形式保存，需要进行分析仿真数据时读取文本并加以分析即可。 |

各个模块的划分主要思想是从功能上分割LTE系统，务求各个模块的耦合最小，尽量少地使用全局变量，系统中的全局函数主要是一些查表函数，其他功能性的函数一般不作为全局函数，这有利于模块之间的独立性。另外，仿真系统并没有明确地按照分层协议进行划分，而是按照各个功能进行划分，这样可以使得各模块能够方便地编程实现。

## 仿真假设

1. 仿真系统采用离散事件驱动机制实现；
2. 仿真系统采用单线程实现；
3. LTE仿真系统的最小时间分辨率为TTI；
4. 不在TTI时间点发生的事件需要量化为TTI间隔，并上取整，确保事件之间的因果性；
5. 同一TTI时间点上的事件处理不耗费仿真系统的全局时间；
6. 仿真系统的地理拓扑仍然具有对称性，需要加上适当的WRAP技术；
7. 计算载干比、MIMO模式选择、AMC、调度、功率控制等为周期性事件；
8. 用户对基站的CQI反馈机制采取周期性反馈机制。
9. 采用静态的频率复用方案。

以上的假设是进行快速仿真并保证仿真性能的基础，对仿真系统的实现有决定性作用，不同的假设可能适合于不同的情况，他们的选择对仿真系统的复杂度有很大的影响。

## 系统级仿真整体处理流程

为了方便程序的升级和维护，基本按照面向对象的思想进行设计，同时尽量降低各个模块之间的耦合程度；减少全局变量的使用，尽量避免混乱，提高程序的可移植性。整个系统大致分为初始化、事件处理、数据采集与分析三部分，系统运行的整体流程见图 2.4‑1



图 2.4—1系统仿真整体流程图

其中，系统初始模块负责基本信息的配置，需要修改系统参数时只需修改对应的配置文件即可，在系统仿真前需要进行系统预热，保证仿真过程能够收敛，之后进行系统仿真，完成上下行事件处理过程，仿真结束后将统计结果输出以便于以后的数据分析，最后再释放资源，完成仿真。

## 上下行完全事件处理流程

事件处理即是完成从发起呼叫到呼叫结束并释放资源的整个过程，通过依次调用相应的模块函数实现，分别进行了呼叫请求处理、切换处理、呼叫接纳处理、信道刷新、载干比计算、HARQ处理、下行反馈、用户调度、生成数据包、功率控制、呼叫结束处理等操作，具体流程图见图 2.5‑1所示：



图 2.5—1系统仿真流程图

# 详细设计

本章详细介绍系统级仿真的仿真流程和仿真所涉及的算法。在整体处理流程中介绍了从系统初始化到系统仿真结束的过程中各个函数之间的具体操作；在事件处理流程中详细介绍了事件处理的全部操作，以及事件处理所涉及到的各个算法。

## 整体处理流程

在仿真开始后，先进行系统初始化，具体操作时通过调用cSystem类中的configure函数读取配置文件，再调用Initialization函数进行初始化赋值；初始化完成后先进行系统预热，在规定的TTI（程序中用c\_preTTI表示）里，通过调用cSystem类中的Process函数来实现进行系统预热，测试仿真是否能收敛；系统预热后开始系统仿真，在规定的TTI（程序中用toatalTime表示）里，仍然调用cSystem类中的Process函数来进行系统仿真，每个TTI运行一次Process，事件的具体操作将在3.2事件处理中详细说明；系统仿真完成后通过调用cSystem类的StatisticOutput函数进行相关数据的采集和统计，将仿真结果存入文本文件中，再利用matlab对仿真结果进行分析；最后，再调用cSystem类中的Destroy函数释放资源。

## 事件处理流程

事件处理流程根据事件处理在时间上的顺序依次介绍了事件处理所需进行的操作，详细介绍了各模块内部的流程图和相关操作以及各个模块之间如何协调和相互调用，另外，在载干比计算、信息反馈、用户调度中所涉及到的算法在各小节中也有详细的介绍。

### 呼叫事件传递操作

在系统仿真中有4个事件链表，分别是cEventLstCallSetup发起呼叫事件链表、cEventLstHandover切换事件链表、cEventLstCac接纳事件链表、cEventLstCallEnd呼叫结束事件链表，呼叫事件的请求、切换、接纳、结束就是通过将呼叫事件在上述链表之间进行传递来实现的。呼叫接纳前需要发起呼叫请求，发起呼叫请求的过程时，首先逐个读取呼叫事件链表，若呼叫事件的timeStamp等于当前TTI，则将该事件从呼叫事件链表中删除，并将其转移到接纳事件链表中；发起呼叫请求后，进行切换处理，首先判断用户是否有切换请求，如有切换请求，则获取切换链表信息，计算切换的时间，切换时间等于当前TTI加切换延迟，获取切换链表信息之后再将用户切换到最佳的小区。切换完成后进行事件接纳处理。

平台进行的事件接纳处理分为两类，一类是呼叫事件接纳，一类是切换事件接纳。平台的两类事件接纳处理流程如图 3.2‑1和图 3.2‑2所示：



图 3.2—1呼叫事件接纳



图 3.2—2切换时间接纳

平台利用系统基本类cSystem包含的CallAdmission函数实现事件接纳控制。对于新呼叫（切换）事件，CallAdmission函数会监控接纳控制事件链表cEventLstCac（切换事件链表cEventLstHandover）的状态以检测是否有新的呼叫（切换）事件需要处理，当cEventLstCac链表（cEventLstHandover链表）不为空时，即表示有新的呼叫（切换）事件进入，此时CallAdmission函数会按照事件在链表中的先后顺序对呼叫（切换）事件逐一接纳处理，每接纳处理完一个呼叫（切换）事件则在链表中将相应事件删除，直到链表恢复空状态。在对呼叫（切换）事件进行接纳处理前还要检测事件的消息响应时间，只有当消息响应时间等于TTI时才认为链表中的事件是呼叫（切换）事件从而进行接纳处理，否则终止事件接纳。在确定链表中有呼叫（切换）事件后，调用CACProcess函数进行接纳处理，返回接纳处理结果，若接纳成功，则调用CacSucc函数进行接纳成功处理，建立用户链表；若接纳失败，则发起接纳失败，释放信道和部分用户内存。在呼叫事件接纳处理的最后还要调用StaticticCAC函数统计接纳信息，切换事件接纳处理则不需进行该步。

呼叫接纳之后进行载干比计算、HARQ、调度、功控等操作，在完成呼叫处理后，调用CallEnd函数，用以释放信道和释放资源，并在cEventLstCallEnd呼叫结束事件链表中删除本次呼叫信息，再在cEventLstCallSetup发起呼叫事件链表中插入下次呼叫的信息。

### 信道刷新

信道刷新主要由ChannelGeneration()函数来完成，其中运动模型由FreshLoc()函数来完成，执行间隔时间为conf.period\_LSF个TTI，在预热时间c\_preTTI内，还会执行CalChannel()函数，具体的计算过程由信道模型类的build函数，Enable函数和Calculate函数完成，大致流程图如图 3.2‑3所示：



图 3.2—3信道刷新流程图

Build函数主要是根据信道的拓扑参数、仿真环境参数，比如坐标距离、传输方向角度、速度、信道场景等值，计算信道的大尺度信息，比如路径损耗、阴影衰落、天线角度增益预估值、信道时延扩展、角度扩展等。

Enable函数主要是对小尺度信息进行判断并计算。一般情况下，是根据大尺度衰落，路径损耗、阴影衰落、天线角度增益，进行排序，选择衰落较小的信道进行小尺度衰落的计算。接下来根据信道的Enable属性进行判断，若为true，则计算该信道的各径功率、时延、AoD、AoA、相位等小尺度生成相关参数。

Calculate函数主要是根据时间的变化，计算小尺度衰落，产生MIMO信道的频域响应。

在HetNet场景下，由于存在非常多的链路，导致小尺度衰落的计算量和存储量非常巨大，而其中大部分的干扰链路并没有起到决定性的作用。故，为了减少计算量，在进行运动模型计算之后，由信道的Build函数产生出每条链路所在信道的路径损耗、阴影衰落、天线角度增益预估值，作为该信道的基本衰落大小，通过对这个基本衰落按大小进行排序，根据计算量的限制，选取最大 的部分信道进行信道的小尺度运算，其余信道的小尺度将不进行信道建模，以此达到计算量和存储量的节省。

### 载干比计算

仿真平台中的载干比计算通过调用SinrCaculation函数实现，根据不同的上下行情况以及传输模式再选择选择不同的载干比计算方式，其具体对应关系见表格 3.2‑1：

表格 3.2—1载干比算法

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 上下行情况 | 传输模式 | 载干比算法 | 函数名 |
| 上行 | TM1 | MRC接收载干比算法 | SINRUplingk\_MRC |
| 上行 | TM1 | MMSE接收载干比算法 | SINRUplingk\_MMSE |
| 下行 | TM2 | SFBC接收载干比算法 | SINRSFBCDownlink |
| 下行 | TM1 | MRC接收载干比算法 | SINRMrcDownlink |
| 下行 | 基于码本传输或波束成型 | 预编码矩阵接收载干比算法 | SINRPrecodingDownlinkAll\_MMSE |

各载干比计算算法原理如下：

1.MRC检测

考虑发送天线数为1，接收天线数为的系统，现假设目标用户/扇区的标号为0，则第r个接收天线在第n个子载波处的接收信号可以表示为：



其中参数解释如下：

：干扰源的数目；

：第j个用户/扇区的发送功率；

：第j个用户/扇区的路径损耗，包括阴影衰落、天线增益、馈线损耗等；

：第j个用户/扇区的第n个子载波的信道增益；

：第j个用户/扇区在第n个子载波发送的符号；

：接收机热噪声，这里是均值为0、方差为的高斯白噪声。

经过MRC处理后，第n个子载波的载干比为：



2.SFBC

考虑一个发送天线数为2，接收天线数为的系统。可根据干扰计算的不同将干扰源分为两个集合，即采用SFBC的集合和没有采用SFBC的集合。那么在第一个和第二个SFBC符号间隔内，第n个子载波处的接收信号可以分别表示为：





其中参数解释如下：

SFBCset：采用MIMO SFBC进行发送的集合。标号0表示目标用户，其他

的标号表示采用MIMO SFBC的干扰源；

r：接收天线的标号；

t：发送天线的标号；

：第j个没有采用SFBC发送的干扰源发送天线的数目；

：目标用户在第i个SFBC符号间隔的接收信号，；

：在第i个SFBC符号间隔的发送信号，；

对于不采用SFBC的情况，若假设发送符号向量（其中），向量的协方差是；

对于使用SFBC的情况，，符号向量的协方差是；

：第t个发送天线与第r个接收天线间的信道增益，假设其在两个

SFBC符号期间是不变的；

：第i个SFBC符号间隔的接收机热噪声，，是均值为0方

差为的高斯白噪声。

第一个和第二个SFBC符号可分别表示为：



则经过SFBC的译码后，目标用户第n个子载波的载干比可以表示为：



其中，



3.MMSE检测

考虑具有线性MMSE接收机的MIMO系统，设发送和接收天线数分别为和，同时假设干扰源与期望接收的信号使用相同的MIMO方案进行传输。则接收信号可以表示为：



其中参数解释如下：

：目标用户在第n个子载波上的接收信号向量；

：目标用户与干扰基站在第n个子载波上的信道增益矩阵；

：目标用户维的数据调制向量，其协方差可表示为，为阶单位矩阵；

：干扰用户的数据调制向量，其协方差可表示为；

：均值为0，协方差为的高斯白噪声向量。

用一个MMSE接收机来解调发送信号向量，有：



这里，MMSE权重（的矩阵）指定为：



其中：



记目标信号分量为，MIMO流间的自干扰为

则目标用户第k层第n个子载波的载干比为：



### L2S接口

对于LTE系统，不同RE有不同的SINR，而资源分配的基本单位是RB。因此，无论是链路级进行链路自适应还是系统级仿真，都需要对载干比计算后的SINR进行合并，得到有效载干比。对合并后的SINR，可以通过查找不同的MCS等级对应的SNR-BLER曲线得到链路自适应等级信息和错误概率，如下图所示。

图 3.2—4链路级到系统级接口

在系统级仿真平台中，根据链路级提供的MCS曲线采用EESM和MIESM方式进行AMC的选择。

1. 对数平均有效载干比映射



其中，表示用户k在码字 上的有效载干比，为用户k的码字，为用户k调度到的H集合，为中元素个数， 为用户k在h上的线性载干比。

1. 互信息有效SINR映射



其中，表示用户k在码字 上的有效载干比，为用户k的码字，为用户k调度到的H集合，为中元素个数， 为用户k在h上的线性载干比， 表示用户k码字MCS调制方式， 和 分别表示SNR到MI的查表函数和MI到SNR的查表函数。

通过计算得到有效载干比 后，需要链路级提供不同MCS等级下SNR-BLER的接口曲线。以载干比为输入，可通过不同MCS等级下SNR-BLER曲线查找满足当前目标误块率BLER\_TARGET的MCS等级；以有效载干比和MCS等级为输入可通过不同MCS等级下SNR-BLER曲线查找获得当前BLER值。链路级提供的MCS曲线如下图所示：



图 3.2—5上行29条MCS曲线



图 3.2—6下行28条MCS曲线

链路级提供的上下行MCS等级对应码率即10%BLER门限值如下表所示：

表格 3.2—2 上下行MCS等级对应码率

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 上行MCS 等级 | 调试方式 | 码率 | 下行MCS 等级 | 调试方式 | 码率 |
| 0 | QPSK | 0.0764 | 0 | QPSK | 0.095 |
| 1 | QPSK | 0.1250 | 1 | QPSK | 0.155 |
| 2 | QPSK | 0.1528 | 2 | QPSK | 0.190 |
| 3 | QPSK | 0.1806 | 3 | QPSK | 0.224 |
| 4 | QPSK | 0.2222 | 4 | QPSK | 0.276 |
| 5 | QPSK | 0.2847 | 5 | QPSK | 0.353 |
| 6 | QPSK | 0.3403 | 6 | QPSK | 0.422 |
| 7 | QPSK | 0.4097 | 7 | QPSK | 0.509 |
| 8 | QPSK | 0.4653 | 8 | QPSK | 0.578 |
| 9 | QPSK | 0.5347 | 9 | QPSK | 0.664 |
| 10 | QPSK | 0.5903 | 10 | 16QAM | 0.332 |
| 11 | 16QAM | 0.2951 | 11 | 16QAM | 0.366 |
| 12 | 16QAM | 0.3368 | 12 | 16QAM | 0.418 |
| 13 | 16QAM | 0.3924 | 13 | 16QAM | 0.487 |
| 14 | 16QAM | 0.4340 | 14 | 16QAM | 0.539 |
| 15 | 16QAM | 0.4896 | 15 | 16QAM | 0.608 |
| 16 | 16QAM | 0.5313 | 16 | 16QAM | 0.659 |
| 17 | 16QAM | 0.5590 | 17 | 64QAM | 0.440 |
| 18 | 16QAM | 0.6146 | 18 | 64QAM | 0.463 |
| 19 | 16QAM | 0.6701 | 19 | 64QAM | 0.509 |
| 20 | 16QAM | 0.7535 | 20 | 64QAM | 0.555 |
| 21 | 64QAM | 0.5023 | 21 | 64QAM | 0.624 |
| 22 | 64QAM | 0.5394 | 22 | 64QAM | 0.670 |
| 23 | 64QAM | 0.5764 | 23 | 64QAM | 0.716 |
| 24 | 64QAM | 0.6227 | 24 | 64QAM | 0.773 |
| 25 | 64QAM | 0.6597 | 25 | 64QAM | 0.819 |
| 26 | 64QAM | 0.6968 | 26 | 64QAM | 0.865 |
| 27 | 64QAM | 0.7338 | 27 | 64QAM | 0.911 |
| 28 | 64QAM | 0.8634 |  |  |  |

表格 3.2—3 10%BLER门限值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 上行MCS 等级 | 10%BLER门限值(dB) | 下行MCS 等级 | 10%BLER门限值(dB) |
| 0 | -5.91765 | 0 | -5.92558 |
| 1 | -4.28445 | 1 | -4.03733 |
| 2 | -3.62759 | 2 | -3.15438 |
| 3 | -2.94194 | 3 | -2.45849 |
| 4 | -2.13548 | 4 | -1.57975 |
| 5 | -1.31045 | 5 | -0.61983 |
| 6 | -0.52564 | 6 | 0.399999 |
| 7 | 0.460607 | 7 | 1.510255 |
| 8 | 1.1872 | 8 | 2.479122 |
| 9 | 1.99 | 9 | 3.563965 |
| 10 | 2.735087 | 10 | 3.809876 |
| 11 | 3.467443 | 11 | 4.454944 |
| 12 | 3.973511 | 12 | 5.394366 |
| 13 | 4.991082 | 13 | 6.448781 |
| 14 | 5.653333 | 14 | 7.264647 |
| 15 | 6.54 | 15 | 8.498925 |
| 16 | 7.176272 | 16 | 9.332867 |
| 17 | 7.628571 | 17 | 9.925424 |
| 18 | 8.532867 | 18 | 10.36273 |
| 19 | 9.414286 | 19 | 11.19289 |
| 20 | 10.59896 | 20 | 12.10847 |
| 21 | 11.06408 | 21 | 13.49594 |
| 22 | 11.75484 | 22 | 14.38434 |
| 23 | 12.5085 | 23 | 15.19423 |
| 24 | 13.39813 | 24 | 16.30413 |
| 25 | 14.14534 | 25 | 17.12368 |
| 26 | 14.80241 | 26 | 18.0835 |
| 27 | 15.49275 | 27 | 19.34014 |
| 28 | 17.97295 |  |  |

仿真平台中L2S接口相关实现函数如下表：

表格 3.2—4 L2S接口相关实现函数

|  |  |
| --- | --- |
| 功能 | 函数名 |
| 有效载干比计算函数 | EffectSINR |
| 载干比到互信息的映射函数 | LUT\_SINR2MI |
| 互信息到载干比的映射函数 | LUT\_MI2SINR |
| SNR到BLER的映射函数 | LUT\_SNR2BLER |
| MCS等级到频谱效率查表函数 | LUT\_McsIndex2Effective |
| 频谱效率到MCS等级查表函数 | LUT\_Effective2McsIndex |
| 选择MCS等级函数 | LUT\_SearchMcsIndex |
| 根据等效载干比查MCS等级函数 | LUT\_SINR2MCSIndex |

### HARQ处理

平台支持的LTE系统中自适应与非自适应的HARQ，并且支持常用合并方式IR与CC。所谓CC合并，是指在重传数据包时，错误的数据包并不被丢弃，而是存储在接收端。在接收端，将先后重传的相同数据包软判决进行加权合并，若重传次数超过最大重发次数的限制，则放弃该数据包。IR合并是指在数据传输时，首先尝试发送纠错能力较低的码，若错误超过其纠错能力，则再重传时降低编码速率，重新发送。也就是说，IR不是每次重传都采用同一个码字，同一种编码速率的，而是根据前一次解码的结果来决定下一次发送的码字的编码速率。若是没能正确解码，收端发送NACK，于是发端自动降低下一次发送的码字的编码速率，也就是增大冗余度，以更好的适应当前信道。为了减小实现的复杂度，进行了一定的化简。平台在接收端HARQ的实现流程如图 3.2‑7所示。



图 3.2—7 HARQ流程图

平台利用系统基本类cSystem包含的Harq函数完成Harq操作，用户类中的HARQ Entity中还存有用户数据的传输次数、累计吞吐量、重传状态、传输情况监测函数等内容。平台在调用SinrCaculation函数计算出载干比之后，即调用Harq函数进行Harq操作。

对于小区中每个扇区的上行或下行Harq操作，Harq函数调用HARQProcess函数查询当前的调度信息，确定调度的每个用户的丢包情况。HARQProcess的具体实现流程以上行为例进行说明。HARQProcess函数中调用HarqProcess，该函数先检测用户是否被调度，若用户被调度，则对扇区内的每个用户发送的每个码字调用相应用户对象UE[userId]中HARQ实体的成员函数HarqProcess函数检测是否传输错误，若无传输错误，则调用HARQ Entity的成员函数Throughput计算用户吞吐量，最后根据扇区中用户所发送的码字的用户吞吐量更新相应用户对象UE[userId]中的吞吐量数据。下行HarqProcess函数处理流程与上行类似。

HarqProcess的具体实现流程：对于上行，用户对象HARQ实体中的成员函数HarqProcess先根据输入的用户mcs等级调用 LUT\_McsIndex2Effective函数和LUT\_McsIndex2AMC函数进行HARQ载干比合并，然后根据当前传输次数更新HARQ缓存中的数据，并调用LUT\_MI2SINR函数和LUT\_SNR2BLER函数计算出误码率。根据误码率判断出当前传输的码字是否错误，若错误，则返回ack为假，并统计传输错误信息；若正确，则返回ack为真，并统计传输次数信息。如果达到最大传输次数，则清空HARQ缓存。目前上行只支持CC。对于下行，用户对象HARQ实体中的成员函数HarqProcess在根据传输次数更新HARQ缓存以及计算误码率时，先要判断载干比合并方式是IR还是CC，对于IR，认为改变原始数据的码率，可能改变调制阶数；并且假设重传的都是原始数据的校验位；对于CC，认为不改变原始发送数据的MCS。其他流程与上行类似。

CC的实现算法如下：

需要考虑自适应HARQ，即每次重传的资源数、MCS可变。

表示等效载干比；

表示重传的载干比；

和分别表示重传比特数和原始比特数；

表示合并后等效码率

表示等效后调制阶数；

表示等效资源数；

CC不改变原始发送数据的MCS；

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

第k次重传bler值在第一次传输的MCS的误码率曲线上计算。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

### 信息反馈

3GPP36.213中的反馈模式MODE 3\_1要求：从码本中选出单个预编码矩阵用于子带集合上；使用wideband PMI和wideband RI；每个子带集合上返回每个码字的subband CQI，计算subband CQI时假设在所有子带上使用单个预编码矩阵并且假设根据子带进行传输；每个码字反馈subband CQI，计算时假设在所有子带上使用单个预编码矩阵并且假设在子带集合上传输。

用户反馈信道状态信息CSI（信道质量指示CQI，预编码矩阵指示PMI，rank指示RI），反馈信息存储在名为feedback\_DL、feedback\_UL的链表中，分别用于下行的反馈和上行的反馈。链表的长度在系统初始化的时候由参数fd\_delay控制，并有feedbackRead\_DL指针指向下行链表的第一个单元，feedbackWrite\_DL指针指向下行链表的最后一个单元，上行情况同理，两个单元之间的距离体现反馈信息的延迟。反馈在平台中的实现是通过每经过固定的TTI，调用一次CSI\_feedback函数。CSI\_feedback函数的主要功能即是根据不同的情况计算CQI、PMI、RI，并将它们写入到由feedbackWrite\_DL指针指向的单元中。具体流程图见图 3.2‑8：



图 3.2—8信息反馈流程图

反馈信息时延模拟的过程是将feedback\_DL的第一个单元放到队尾，再将第一个单元删除，再使feedbackRead\_DL、feedbackWrite\_DL分别指向链表的头和尾。反馈时延之后进行CQI、PMI、RI的计算：RI\_update为true时，表示当前TTI对RI进行计算，即，RANK自适应时当前TTI为RI更新周期：

平台中的具体实现过程如下：

if RI\_update

for RI=1：RI\_max

for pmi=0:由RI确定的pmi最大值

* 在全带宽上计算总的SINR；



其中，hnum为全带宽的H数，为第i个H上的信道响应，为PMI=j时的预编码矩阵，，



* 计算SINR在H上的平均ave\_SINR；
* 根据ave\_SINR选择MCS等级；
* 根据MCS等级选择谱效率；
* 计算所有H上的信道容量的和；



其中，是信道响应矩阵，是预编码矩阵，是噪声相关阵，是求共轭转置。

end for

end for

* 在上述for循环选择出容量和最大的PMI及该PMI对应的RI；

else

if 未到RI更新TTI

* RI=上一TTI的RI；

else

* RI=设定的RI；

end if

for pmi=0:由RI确定的pmi最大值

* 在全带宽上计算总的SINR；
* 计算SINR在H上的平均ave\_SINR；
* 根据ave\_SINR选择MCS等级；
* 根据MCS等级选择谱效率；
* 选择是谱效率最大的PMI；

end for

end if

* 将PMI、RI写入feedbackRead\_DL中；
* 求每个子带中每个码字对应的子带CQI；
* 对每个码字对应的子带CQI在层数和H上求平均；
* 将平均的结果作为子带CQI写入到feedbackWrite\_DL中；
* 将同一码字对应子带CQI求和即为宽带CQI；
* 将subband CQI的写入到feedbackWrite\_DL中。

其中下行反馈的CQI是经过量化的，不同CQI等级的SNR门限值如下表所示，方法是，根据36.213中4bitCQI量化表，将表中15个CQI等级的码率与链路级提供的下行28个MCS等级曲线的码率（表格 3.2‑2 上下行MCS等级对应码率）相比较，选出相同调制方式下码率最接近的MCS等级，以此MCS等级对应的SNR门限值（10%BLER点上的SNR）为CQI等级的SNR门限值。其中CQI等级0中标准未定义相关SNR门限值，其门限值是根据相邻CQI等级SNR门限值dB上的差别确定为-8dB。需要说明的是标准中的CQI等级2和等级3对应于下行MCS等级2。

表格 3.2—5 CQI等级SNR门限值

|  |  |
| --- | --- |
| CQI等级 | SNR门限值 |
| 0 | 0.2533 |
| 1 | 0.3947 |
| 2 & 3 | 0.567742 |
| 4 | 0.866995 |
| 5 | 1.415877 |
| 6 | 2.271938 |
| 7 | 3.462873 |
| 8 | 5.326779 |
| 9 | 8.576038 |
| 10 | 13.16101 |
| 11 | 16.2497 |
| 12 | 27.44314 |
| 13 | 42.69856 |
| 14 | 64.32052 |
| 15 | 85.90404 |

### 用户调度

用户调度由Scheduling函数实现，调度开始后，首先清除上一次的调度信息，随后根据是否有反馈以及小区/用户场景选择不同的调度算法，在调用调度算法的过程中还会写入部分调度信息，之后再进行MCS等级的计算，并且根据是否有反馈的情况，MCS等级的计算方式不同，最后再进行调度信息的更新以及时延处理，调度的具体流程图见图 3.2‑9



图 3.2—9用户调度流程图

调度过程的核心内容在于根据不同的情况选择不同的调度算法，具体不同场景与调度算法的对应关系见下表：

表格 3.2—6调度算法

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 小区/用户场景及传输模式 | 调度算法 | 函数名 |
| 上下行SCSU TM1或TM2 | 轮询 | ScheduleRoundRobin |
| 下行SCSU CODEBOOK | 基于CSIT反馈的PF调度算法 | Schedule\_PF\_DL\_CSI |
| 下行SCSU | 基于CSIT反馈的PF调度算法优化  (专利：下行预编码历史信息调度) | Schedule\_PF\_DL\_CSI |
| 下行SCSU（针对FTP业务） | 基于CSIT反馈的weighted PF调度算法 | Schedule\_PF\_DL\_CSI\_FTP |
| 下行SCMU CODEBOOK & BEAMFORMING | 基于CSIT反馈的ZFBF预编码PF调度 | Schedule\_PF\_DL\_MU\_ZFBF\_CSI |
| 下行SCMU CODEBOOK & BEAMFORMING | 基于CSIT反馈SLNR预编码PF调度 | Schedule\_PF\_DL\_MU\_SLNR\_CSI |
| 下行SCMU CODEBOOK | 基于用户配对的PF调度 | Schedule\_BCI\_MU\_FDD |
| 上行SCSU TM1 | PF调度算法（norm、riding peaks）  默认采用riding peak，若需配置为norm，需要修改代码 | Schedule\_PF\_UL\_RP |
| 上行SCSU TM1 | PF调度算法优化  (上行基于用户历史调度信息的PF调度算法优化) | Schedule\_PF\_UL\_RP |

上表列出了仿真平台中所用到的所有调度算法,其中PF调度算法中优先级的计算方法为：



其中已服务吞吐量的计算方法为：，，为在TTI n传对的吞吐量；若某个包传输错误。其中，是为了加快收敛速度，而做的处理。

各调度算法的实现过程分别如下：

1. **轮询**

获取扇区用户链表；

调度用户链表的第一个用户，写入调度信息；

用户链表的第一个用户放到链表最后一个。

1. **基于CSIT反馈的PF调度算法**

用户记为集合；用户的信道为；用户累积吞吐量为

for user=1:k

* 读取每个码字的CQI\_subband信息，根据CQI选MCS等级，再从MCS映射到该用户k的谱效率。
* 求PF因子，调度用户为，其中为用户k的平均吞吐量。
* 每个H写入调度用户Id，用户数为1，传输方式为CODEBOOK和所用预编码矩阵的绝对索引。

end for

1. **基于CSIT反馈的PF调度算法优化**

该算法是对常规PF算法的优化，具体方法说明如下：

考虑当前基站对其他小区用户干扰的影响，对用户k的PF因子修正为：



其中表示在用户k测量PMI/CQI时刻，服务基站所使用PMI与用户选择的PMI的差别量；



其中是当前基站改变PMI对其他小区干扰造成变化的代价常数。

1. **基于CSIT反馈的Weighted PF调度算法**

该算法用于FTP业务，详见3.2.10。

1. **基于CSIT反馈的ZFBF预编码PF调度**

初始化：

* 用户记为集合；
* 用户的信道为；
* 用户累积吞吐量为；
* 要调度的用户集合；
* 未调度的用户集合用户集合

for user=1:k

* 读取每个码字的CQI\_subband信息，直接将CQI映射到该用户k的谱效率。
* 求PF因子，调度用户为，其中为用户k的平均吞吐量。
* 单用户的最佳优先级：



end for

，

将、中的用户进行基于ZFBF预编码的用户配对，算出调度用户集合，非调度用户集合，具体算法如下：

for 

* V1为用户i的预编码矩阵，若对于中的用户的预编码矩阵V2都有 

则计算预编码矩阵：

其中H表示中的用户的预编码矩阵，为用户i的预编码码本

* ;
* if td>0

;

* end if;
  + 迫零矩阵：



* 对于，假设等功率分配，进行CQI重计算：



其中，w为G的第j列，V为用户j的预编码矩阵，n为中用户的个数

* 计算优先级：



* 选择优先级最高的用户



* 此时的多用户优先级：



end for i

* 如果多用户优先级大于单用户优先级，即，将该用户加入被选用户集合 ，

优先级因子。

* 写入调度信息：

if 中元素个数=1，采用SU-MIMO调度

* 用户当前RI等于反馈的RI；
* 预测的实际CQI和理想CQI等于反馈的CQI；
* 每个H写入调度用户Id，用户数为1，传输方式为CODEBOOK和所用预编码矩阵的绝对索引

else 采用MU-MIMO调度

* + - 对于被选用户集中的用户，重计算其CQI并写入。



其中，w为G的第j列，V为用户j的预编码矩阵，n为中用户的个数

* + - 每个H写入调度用户Id、用户数，传输方式为BEAMFORMING、所用预编码矩阵的绝对索引和Beamforming矩阵/向量。

end if

1. **基于CSIT反馈SLNR预编码PF调度**

初始化：

* + - ，
    - 用户集合
    - 
    - ，
    - 计算初始优先级：

for 

* 
* 根据反馈信息计算中各用户的近似相关矩阵；



其中为用户i反馈PMI、RI索引的预编码矩阵

* 用户i的Ge矩阵



* 用户i的SLNR预编码矩阵：



其中w为矩阵的最大的特征值对应的特征向量，n为中用户的个数

* 由CQI反馈获取用户i的载干比SINR；
* 用户i采用SLNR预编码时受到的干扰：



* 用户i的为用作预编码矩阵，干扰为，采用MMSE接收的载干比
* 多用户的优先级：



endfor

* 多用户调度集合



* 多用户的最佳优先级：



* 若单用户的最佳优先级大于多用户的最佳优先级，则采用SU-MIMO，否则，采用MU-MIMO
* 写入调度信息：

if 选择用户数为1，则进行SU-MIMO调度

* 每子带写入被选用户的subband\_CQI[subs]
* 每个H写入调度用户Id，用户数1，传输方式CODEBOOK和所用预编码矩阵的绝对索引。

else 进行MU-MIMO调度

* + - 重计算被选用户集的CQI并写入。
* 根据反馈信息计算中各用户的近似相关矩阵；



其中为用户i反馈PMI、RI索引的预编码矩阵

* 用户i的Ge矩阵



* 用户i的SLNR预编码矩阵：



其中w为矩阵的最大的特征值对应的特征向量，n为中用户的个数

* 由CQI反馈获取用户i的载干比SINR；
* 用户i采用SLNR预编码时受到的干扰：



* + 用户i的为用作预编码矩阵，干扰为，采用MMSE接收的载干比
    - 每个H写入调度用户Id、用户数，传输方式BEAMFORMING、所用预编码矩阵的绝对索引和Beamforming矩阵/向量。

end if;

1. **基于用户配对的PF调度（BCI）**

用户集合

计算每个用户的BCI反馈信息，存入BCI\_scope中，BCI反馈信息的计算方法如下:

* + - 确定用于反馈的单用户的PMI、RI对为：



其中为用户在预编码矩阵为并采用MMSE接收时的数据率，为由PMI、RI检索的码本

* + - 单用户的数据率：



* + - 确定用于反馈的用户配对 的PMI、RI为：



其中为用户在预编码矩阵为，干扰为，采用MMSE接收时的数据率。为噪声干扰，码本干扰的计算方法为：



其中。

* + - 多用户的数据率：



* 初始化usr1=INVALID\_USER, usr2=INVALID\_USER;
* 计算单用户的数据率和PF因子：
  + 读取每个用户的BCI反馈信息中的SU数据率tmp；
  + 计算PF因子：，是用户i的吞吐量；
  + 找到最大的数据率max\_tmp，和最大的PF因子；
* 计算多用户的数据率和PF因子：
* 对于任意两用户j、k，若j的BCI\_PMI、BCI\_RI等于k的SU\_PMI、SU\_RI且k的BCI\_PMI、BCI\_RI等于j的SU\_PMI、SU\_RI则可计算两用户同时传输的传输速率：和PF因子：，其中是用户j的吞吐量，是用户k的吞吐量，并找到最大的tmp和
  + - if tmp>max\_tmp
    - usr1=j,usr2=k
    - endif
* 写入调度信息：

if usr2= INVALID\_USER，则采用SU-MIMO调度

* + - * 调度信息的usrId=usr1，用户数为1；
      * usr1的反馈信息中的波束成型矩阵为usr1的预编码矩阵；

end if

if usr1、usr2均不为INVALID\_USER，则采用MU-MIMO调度

* + - * + 调度信息的usrId=usr1、usr2，用户数为2
        + usr1的反馈信息中的波束成型矩阵为usr1的预编码矩阵；
        + usr2的反馈信息中的波束成型矩阵为usr2的预编码矩阵；

end if

1. **上行PF调度**

上行PF调度需考虑单载波特性，算法如下。

初始化：

* 用户记为集合 ；
* 用户累积吞吐量为；
* 未分配子带集合 ；
* 已分配给用户 的子带集合 ；

计算PF因子：

* 

其中表示用户在子带上的PF因子。

对进行排序，有两种排序算法可选：

1. 排序一：norm PF
   * 按照子带升序排列所有PF因子；
   * 每个子带按照 降序排列；
2. 排序二：Riding Peaks：按照降序排列。

* 序号 ；

while  do

* 取中第 大的PF因子，选出的元素的下标为
* if  or 与中的子带相邻
  + ；
  + ；
  + ；
  + 按照以上调度结果重新计算用户功率和PF因子，对进行更新；
* else
  + 
* end if；

end while；

根据向ScheduleInfoWrite\_UL写入调度结果。

1. **上行PF调度算法优化**

步骤1.在t时刻，调度器根据每个用户在每个传输块（RB）i上的 ，计算当前时刻用户k所能达到的传输速率和平均传输速率 ，计算用户k在RB i上的PF因子：



步骤2.在t时刻，根据调度器存储单元存储的资源块RB i上的过去n个时刻的历史调度信息，根据下式计算用户k在RB i上的PF修正因子。



其中， 表示在第j个时刻，RB i上的调度用户。

步骤3.计算最终t时刻用户k在RB i上的优先级，并按照优先级排序。其中。

步骤4.选择满足上行调度单载波特性情况下优先级最大的用户作为调度结果。

1. **上行MU调度**

上行MU调度考虑单载波特性，配对用户传输带宽相同，具体算法如下：

初始化：

用户记为集合 ；

用户累积吞吐量为；

未分配子带集合 ；

已分配给用户 的子带集合 ；

计算SU PF因子：



 表示用户在子带上的PF因子。

计算MU PF因子：



表示用户在子带n上与任何可配对用户l的MU PF因子。

表示在子带n上，用户k和用户l空间复用可获得的瞬时速率。

在(1)(2)中计算的所有UE和UE pairs中，选出在所有子带上优先级最大的SU PF因子和MU PF因子：





比较SU和MU选出的UE和UE pairs，较大者为当前RB的调度结果。

扩展(3)中的UE(s)直到满足如下条件之一：

另有UE或UE pairs有更高的SU/MU优先级

(3)中选出的UE(s)有至少1个超过最大功率限制

将(3)(4)中分配的子带的优先级置为0。

如果(3)(4)中分配的UEs的功率达到最大或分配的子带数达到最大（1），则置UEs的所有优先级为0。

执行(3)(4)直到所有UEs达到(6)中的条件

收集未分配的RB，将该RB分配给邻近的已经分配的UE/UE pairs中PF因子较大者。

将调度结果写入ScheduleInfoWrite\_UL中。

### 功率控制

功率控制通过调用PoweControl函数实现，PoweControl函数中根据上行下行进行了不同的功率控制计算，但基本流程都是一样的，具体流程图见图 3.2‑10：



图 3.2—10功率控制流程图

由流程图可以看出，在功率控制的过程中，首先检查用户是否被调度，如果调度到该用户，则根据公式计算发送功率，最后再将发送功率写入到用户类cUE的相应信息中。根据不同的上下行情况，发送功率的计算方式略有不同，在上行情况，需要在根据路径损耗等计算出的发送功率和发送功率上限中选择较小值作为最终的发送功率，对于下行情况，则直接使用计算的发送功率即可。

下行功率控制算法原理如下：

下行功率控制可以由如下的公式来表示：



其中参数解释如下：

：eNB的发射功率；

：eNB端所允许的最大发射功率；

：分配给UE的RB的数目；

上行功率控制算法原理如下：

上行功率控制可以由如下的公式来表示：



其中参数解释如下：

：UE的发射功率；

：UE端所允许的最大发射功率；

：分配给UE的RB的数目；

：UE与服务扇区间的路径损耗；

：部分补偿因子，由仿真场景确定；

：小区标称功率，由仿真场景确定。

### 生成数据包

生成数据包主要是需要计算传输数据包的大小，通过调用Traffic函数实现，具体流程图如图 3.2‑11：



图 3.2—11生成MAC包流程图

由流程图可以看出，首先需要清除上个TTI用户的RE数的信息，再统计本次TTI中用户的RE数信息，以便于计算传输数据包的大小；在选择HARQ入口时，选择的HARQ进程是除去用户所有码字对应的HARQ进程后HARQ进程；之后，再根据重传状态判断是否是新的传输，如果是新的传输，则需计算发送数据包大小，如果是重传数据，则计算重传数据包的大小。重传包的大小和初传包的大小可能不同，比如使用IR或者调度分配的RB数目不同时，但是累加吞吐量时使用的是初传包大小。初传包大小根据MCS等级、层数、分配RB数与36.213中的Transport Block Size Table进行比较选择最接近的包大小。

### FTP业务源

系统级仿真平台支持36.814中的Mode 1。其传输模型参考25.892 A3.4.2，业务模型按照36.814 A2.1.3，主要内容如下：

1. **FTP业务源模型**

36.814中有两种FTP模型，本系统级仿真平台只实现Mode 1。下表里除了FTP traffic Mode 1的参数。下图是Mode 1用户到达示意图。Mode 1定义的文件大小S=2Mbytes，但是，为节省仿真时间也可采用S=0.5Mbytes的文件大小。仿真平台中使用的是1Mbytes的文件大小。另一点需要说明的是，对于一个用户，每次至多有一个文件需要传输，也即一个用户至多有一个FTP session。

表格 3.2—7 FTP traffic model 1

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Statistical Characterization |
| File size, S | 2 Mbytes (0.5 Mbytes optional)  (one user downloads a single file) |
| User arrival rate λ | Poisson distributed with arrival rate λ |



图 3.2—12 FTP Model 1业务生成

其中对于0.5Mbytes的文件，λ的可能取值范围为：[0.5,1,1.5,2,2.5]，对于2Mbytes的文件，λ的可能取值范围为：[0.12,0.25,0.37,0.5,0.625]。采用上述λ的取值，在non-CoMP SU-MIMO场景下可实现使Resource Utilization（RU）满足从10%到50%的各种情况。。

1. **性能指标**

Mean，5、50% user throughput，其中



Served cell throughput



Resource utilization (RU)



1. **文件丢包准则**

为保证高负载情况下的系统稳定性，丢弃传输时间超过最大传输时间T\_drop的文件。

当文件大小S=0.5Mbyte，则T\_drop=8s;

当文件大小S=2Mbyte，则T\_drop=32s。

对于HARQ重传失败的处理，如果系统中搭建了RLC ACK机制，则在MAC error rate高于3%时，判断该UE FTP传输失败，丢掉文件并断开UE链接；如果系统中无RLC重传机制，则近似认为到达MAC层HARQ最大重传次数后丢包。为了能够与采用RLC ACK机制时的仿真假设相匹配，设置HARQ最大重传次数时要考虑到RLC重传，例如若Full Buffer下最大重传次数设为4，假设RLC最大重传为3次，则应将HARQ最大重传次数设为12。

1. **文件到达率估计**

对于FTP Model 1，有下式



对于LTE 2×2 10MHz的系统，当S=0.5Mbyte=4Mbit，当offered load在[2 4 6 8 10]Mbps范围内取值，可以实现RU分别为[10%,50%]。



程序实现流程如下图所示：



图 3.2—13 FTP业务源程序流程图

FTP业务源实现包括FTP Session产生、根据ACK/NACK进行FTP业务吞吐量累计及丢包处理、对FTP业务进行Weighted PF调度、生成FTP数据包并处理、FTP Session结束。下面以上各部分进行详细介绍。

1. **FTP Session产生**

针对FTP业务：在每个TTI，一个用户若有FTP Session则处理呼叫请求，否则不处理该呼叫请求。用户有一个FTP Session就意味着该用户要下载一个FTP文件，文件大小为S（可通过Traffic.h配置）。一个用户在同一个时间点，至多有一个FTP session，并且在每个FTP Session中只下载一个文件，这个文件完成或下载判定为文件传输失败后该FTP Session结束。

在每个TTI遍历呼叫请求时间链表cEventLstCallSetup时，产生FTP Session：对每一个用户请求事件做一次伯努利实验，使用二项分布 逼近服从参数为 的泊松分布。其中，是当前小区未接入的用户数量，即没有FTP Session的用户数量，，。

FTP Session产生的具体流程如下：



图 3.2—14 FTP Session产生流程

1. **FTP HARQ处理**

在Full Buffer HARQ模块中增加UpdateTrafficInfo，以根据ACK/NACK进行FTP文件处理。若是ACK，则累加当前用户接收文件大小，并根据已接收文件大小判断是否接收完成。当接收完成则将文件的大小累加到吞吐量中，并设置相关变量表示该用户的FTP Session在当前TTI内结束；否则需要判断是否超时。若是NACK，则判断是否达到最大重传次数或者超过最大时延。需要注意的是，处理中要考虑到当前用户传输为两个码字时码字间的相互影响。比如说，当前TTI该用户双流传输，两个码字，则HARQ判断的时候先判断第一个码字是否接收成功累加接收文件大小或者超过最大重传次数或者超过最大传输时间，如果第一个码字判断为丢包则第二个码字不再进行任何判断。

具体流程如下图所示：



图 3.2—15 FTP HARQ处理流程

1. **FTP WPF调度**

初始化：

在接纳用户中取满足以下条件的用户为集合：

用户未丢包；

用户FTP文件接收未完成；

用户FTP文件未发送完成或文件发送完成（接收未完成）但当前传输为重传。

for UE i = 1 : 

* 读取每个码字的CQI\_subband信息，根据CQI选MCS等级，再从MCS映射到该用户的谱效率 。
* 求PF因子：



其中， 是用户在满足最大时延要求的情况下需使用的最小比特率，即：



是用户的平均吞吐量：



其中是上个TTI内用户正确接收的用户吞吐量。（已在HARQ过程中更新）， 表示用户i的窗长，其大小要考虑用户业务时长和最大时延以及PF的收敛速度。如果用户在第n个TTI被调度则等于1，否则为0。

* 调度用户为

end for;

1. **FTP数据包处理**

在Full Buffer生成数据包模块中增加部分代码，该部分代码只在业务类型为FTP时运行。功能为根据计算得出的数据包大小，统计当前FTP Session内已发送文件的大小。在以下两种情况下，置发送数据包大小为零：

* 用户文件传输失败，文件丢包；
* 用户在当前FTP Session内发送完成；

1. **FTP Session结束**

主要功能为根据用户FTP文件下载情况，对完成下载和丢包用户执行FTP Session结束处理，释放系统资源。

### 非理想信道估计

链路级提供信道误差，基于CRS，得到的信道估计误差建模用MSE曲线如下表所示：

表格 3.2—8 信道估计误差建模用MSE

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| PUSCH  SINR（dB） | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| MSE | 0.30065 | 0.145573 | 0.051635 | 0.016091 | 0.006239 | 0.001959 | 0.000678 | 0.000235 | 9.80E-05 |
| PDSCH  SINR(dB) | -10 | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| MSE | 0.753448 | 0.42246 | 0.195163 | 0.070453 | 0.027903 | 0.009241 | 0.003412 | 0.001371 | 0.00058 |

上表中，第一行为SINR（dB），第二行为MSE（大尺度衰落为1时的估计误差的平方）。

在非理想信道估计中，下行在用户反馈和HARQ前载干比计算时使用非理想信道估计。反馈时计算所需的干扰在使用MMSE IRC时，使用包含小尺度的干扰；在使用MMSE OPT1时，反馈计算使用不包含小尺度的干扰代替（理想信道估计反馈计算和HARQ前载干比计算包含小尺度）。HARQ前的载干比计算在检测矩阵中使用非理想信道估计。由于假设使用CRS进行非理想信道估计，故查找MSE曲线所计算的载干比分子信号部分不使用预编码，分母计算考虑预编码。载干比计算表达式如下：



其中，C和I分别为信号和干扰的协方差矩阵，。计算得出的SINR要考虑RS Power Boosting，即在计算得出的SINR基础上加上3dB后在进行MSE曲线的查找。

平台不仅支持基于CRS的MMSE接收机，还支持基于DMRS的MMSE接收机，基于DMRS带来了预编码增益和接收分集增益，实际实现的时候，对于上述公式，分子部分应使用预编码。

### 开环链路自适应

开环链路自适应（Open Loop Link Adaptive，OLLA）程序实现流程如下图所示：



图 3.2—16OLLA程序实现流程

OLLA实现包括HARQ处理时的OLLA Delta修改以及对调度用户MCS等级的修正两部分。

RANK 1与RANK自适应的OLLA Delta不同，单流只有一个OLLA Delta变量；双流时每个流有一个OLLA Delta变量，变量间相互独立。因此，对于每个UE，最多可能有3个OLLA delta

OLLA参数设置如下表所示：

表格 3.2—9Definition.h中OLLA参数设置

|  |  |
| --- | --- |
| 参数 | 含义 |
| OLLA\_STEP | OLLA Delta步长 |
| OLLA\_INC\_STEP | OLLA Delta增步长 |
| OLLA\_DEC\_STEP | OLLA Delta减步长 |

1. **OLLA Delta修改**

对于当前码字：

HARQ NACK时：



HARQ ACK && 首次发送时：



其中， 表示流数， 。

1. **MCS等级修正**



# 仿真结果及校准

系统级的仿真测试用例包括两部分，同构网的测试和异构网的测试。

## 同构网仿真结果及校准

同构网的测试有校准和仿真分析，主要包括3GPP Case1，协议36.814和自评估的校准，仿真测试部分包括不同OLLA及不同天线相关性的仿真结果和分析。

### 下行3GPP Case 1的校准

按照3GPP自评估建议，平台先与3GPP 36.814 Case1给出的结果进行对比，以保证平台的可靠性。

仿真结果如下所示：

表格 4.1—1 吞吐量仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Metric | 校准值 | 仿真结果 |
| Cell avg | 1.1 | 1.0997 |
| Celledge | 0.026 | 0.0268 |

图表 3.2 3.2 4.1‑1 下行3GPP Case1部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量CDF： | 载干比CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

从每用户SINR与用户归一化的吞吐量的CDF上可以看出，平台的仿真结果与3GPP case 1的各公司平均结果几乎一致。

对于MCS等级分布图，可以看到MCS等级9和MCS等级16没有被选中过，这是因为MCS等级9的谱效率与MCS等级8的谱效率一致，MCS等级16的谱效率与MCS等级15的谱效率一致，但对于所需SINR两者不一样，等级越高，所需SINR越高。在这种模型下，MCS等级9和等级16就不应该被选到。

### 下行3GPP自评估校准

下行对SU、MU分别进行4组仿真与3GPP自评估的校准工作，相同场景的几组CASE的不同之处在于天线间距，如下表所示：

表格 4.1—2 仿真CASE

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| CASE | R8 1 | R8 2 | R8 A | R8 C |
| 天线间距（波长） | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 0.5 |
| CASE | MU 1 | MU 2 | MU A | MU C |
| 天线间距（波长） | 1.0 | 2.0 | 4.0 | 0.5 |

表格 4.1—3 3GPP自评估SU-MIMO Rank自适应的校准结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 频谱效率(bps/Hz) |  | 3GPP自评估（16-17家公司）最小值 | 3GPP自评估（16-17家公司）最大值 | 3GPP自评估（16-17家公司）平均值 | 仿真结果 |
| R8 A(4) | Cell avg | 1.187 | 1.631 | 1.410 | 1.347 |
| Cell edge | 0.029 | 0.059 | 0.042 | 0.045 |
| R8 C(0.5) | Cell avg | 1.172 | 1.830 | 1.587 | 1.586 |
| Cell edge | 0.032 | 0.085 | 0.051 | 0.054 |
| MU A(4) | Cell avg |  |  | 2.04 | 1.3105 |
| Cell edge |  |  | 0.056 | 0.0380 |
| MU C(0.5) | Cell avg |  |  | 2.30 | 1.62555 |
| Cell edge |  |  | 0.064 | 0.0505 |

图表 3.2 3.2 4.1‑2 R8\_1 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK | RANK |
|  |  |
| 平均每用户SINR | wideband SINR |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑3 R8\_2 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK | RANK |
|  |  |
| 平均每用户SINR | wideband SINR |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑4 R8\_A 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK | RANK |
|  |  |
| 平均每用户SINR | wideband SINR |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑5 R8\_C校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK | RANK |
|  |  |
| 平均每用户SINR | wideband SINR |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑6 MU\_1 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| wideband SINR |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑7 MU\_2 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| 用户配对 | 平均每用户SINR |
|  |  |
| wideband SINR |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑8 MU\_A 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| 用户配对 | 平均每用户SINR |
|  |  |
| wideband SINR |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑9 MU\_C 校准结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量 | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| 用户配对 | 平均每用户SINR |
|  |  |
| wideband SINR |  |
|  |  |

以上是理想信道估计下3GPP自评估校准结果。

下表列出了R8C非理想信道估计校准结果。对如下三个CASE进行了仿真：

表格 4.1—4 R8C非理想信道估计校准结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| R8C | 仿真时间 | 信道 | Receiver | beta |
| CASE 1 | drop 1;200+400 | 理想信道估计 | MMSE\_IRC | 1.0 |
| CASE 2 | drop 1;200+400 | 理想信道估计 | MMSE\_IRC | 0.7 |
| CASE 3 with 3dB power boosting | drop 1;300+400 | 非理想信道估计 | MMSE\_IRC | 0.7 |
| CASE 4 with 3dB power boosting | drop 1;300+400 | 非理想信道估计 | MMSE\_OPTION1 | 0.7 |

仿真结果如下所示：

表格 4.1—5 吞吐量仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Throughput | Cell ave | Cell edge |
| CASE 1 | 1.4865 | 0.0383 |
| CASE 2 | 1.6124 | 0.0406 |
| CASE 3 | 1.4712 | 0.0353 |
| CASE 4 | 1.2322 | 0.0296 |

部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑10 Throughput CDF

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑11 MCS仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑12 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑13 RANK仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑14 下行每用户平均载干比

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

从以上校准来看，非理想信道估计与理想信道估计相比平均吞吐量和边缘用户吞吐量相差在一定范围内。

### 下行不同OLLA的仿真结果与分析

表格 4.1—6 不同case的参数配置

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| OLLA | INC | DEC |
| CASE 0 | +0.1 | -1 |
| CASE 1 | +0.25 | -1 |
| CASE 2 | +0.1 | -0.25 |
| CASE 3 | +0.1 | -0.5 |
| CASE 4 | +0.1 | -0.2 |
| CASE 5 | +0.25 | -0.5 |

不同在OLLA参数在基于自评估R1-094954仿真参数的基本假设配置，其中上表中的INC表示用户成功接收一个新的数据包，对MCS等级的提升量；DEC表示用户的数据包接收错误，对MCS等级的降级。以CASE 0为例，表示某个用户如果成功接收到10个数据包，则MCS等级加1；一旦用户接收错误，则MCS等级降1。MCS未修正等级由用户反馈的CQI直接决定，而修正的MCS等级由OLLA配置参数和用户反馈CQI共同决定。

表格 4.1—7不同CASE的吞吐量(3km/h)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | CASE 0 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
| cell ave | 1.7488 | 1.8880 | 1.8886 | 1.9060 |
| cell edge | 0.06052 | 0.0658 | 0.0661 | 0.0667 |

图表 3.2 3.2 4.1‑15 不同OLLA的MCS等级与HARQ

|  |  |
| --- | --- |
| CASE0 MCS等级 | CASE0 HARQ |
|  |  |
| CASE1 MCS等级 | CASE1 HARQ |
|  |  |
| CASE2 MCS等级 | CASE2 HARQ |
|  |  |
| CASE3 MCS等级 | CASE3 HARQ |
|  |  |

比较不同CASE的参数配置(3km/h)的MCS和HARQ结果：

分成两组比较CASE0 CASE 2 CASE3，和CASE 0 CASE 1

其中MCS\_case\_X表示case\_X的MCS等级，HARQ\_case\_X表示case\_X的HARQ传输正确概率。

对于CASE0 CASE 2 CASE3，MCS提升量相同，都是每正确接收10个包提升一个等级，而MCS下降量不一样，CASE 0 每错一个包就降一个MCS等级，而case 2错4个包下降一个等级。因此，有

MCS\_case\_0<MCS\_case\_3<MCS\_case\_2，

HARQ\_case\_0> HARQ\_case\_3> HARQ\_case\_2,

仿真结果与预期相符；

对于CASE0 CASE 1 ，也类似上述解释，有

MCS\_case\_0<MCS\_case\_1；

HARQ\_case\_0> HARQ\_case\_1；也是符合预期的。

这样通过MCS等级分布和HARQ正确接收概率的折中，来找到一个合适的平衡点，来最大化扇区频谱效率。

### 下行不同天线相关性的仿真结果与分析

不同仿真case的基于ITU自评估的仿真假设，其中各组意义为：

R8\_1：基于R8 SU-MIMO，基站端天线间距1波长；

R8\_2：基于R8 SU-MIMO，基站端天线间距2波长；

R8\_A：基于R8 SU-MIMO，基站端天线间距4波长；

R8\_C：基于R8 SU-MIMO，基站端天线间距0.5波长；

MU\_1：基于R8反馈的MU-MIMO，基站端天线间距1波长；

MU\_2：基于R8反馈的MU-MIMO，基站端天线间距2波长；

MU\_A：基于R8反馈的MU-MIMO，基站端天线间距4波长；

MU\_C：基于R8反馈的MU-MIMO，基站端天线间距0.5波长；

表格 4.1—8用户数10的RANK自适应的仿真结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 用户数/扇区 | 10 | | | | | | | |
| throughput | MU 0.5 | MU 1 | MU 2 | MU 4 | SU 4 | SU 2 | SU 1 | SU 0.5 |
| Cell ave | 1.9441 | 1.5356 | 1.3974 | 1.3212 | 1.3001 | 1.3309 | 1.4241 | 1.7191 |
| Cell edge | 0.0764 | 0.0552 | 0.0476 | 0.0399 | 0.0480 | 0.0509 | 0.0591 | 0.0706 |

图表 3.2 3.2 4.1‑16 不同天线相关性的RANK分布

|  |  |
| --- | --- |
| R8\_A RANK | R8\_C RANK |
|  |  |

从天线相关性上看，有R8\_C>R8\_1>R8\_2>R8\_A与MU\_C>MU\_1>MU\_2>MU\_A;

对于SU-MIMO而言，从仿真结果上看，有天线相关性越高，系统性能越好的趋势，这是因为：

MIMO技术本质上来讲是利用空间选择性衰落达到独立并联信道传输效果。每个子信道增益是信道矩阵H的奇异值的平方，也即的特征值。

设是的特征值，则有，对于不同天线相关性来说，的和表征信道能量，为定值。而差别就体现在的分布上：高相关性下的差别更大；低相关性下差别更小。

从信道容量上看，因有



从理论上看低相关有更高容量。然而对于单流情况来说，由于，而LTE系统对于单流传输只能利用主特征方向进行传输，而丢弃了其他的特征方向，这就使得高相关性时单流传输的性能比低相关性的好。在双流传输情况下，，所以在第二个流高相关性的性能较差。

表格 4.1—9 R8\_A与R8\_C的rank分布

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Wideband SINR（dB） | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 总比例 |
| R8 A | Rank 1 | 1.0000 | 0.9905 | 0.9777 | 0.8476 | 0.4883 | 0.1999 | 0.8048 |
|  | Rank 2 | 0 | 0.0095 | 0.0223 | 0.1524 | 0.5117 | 0.8001 | 0.1952 |
| R8 C | Rank 1 | 1.0000 | 0.9928 | 0.9792 | 0.8393 | 0.4665 | 0.2553 | 0.7983 |
|  | Rank 2 | 0 | 0.0072 | 0.0208 | 0.1607 | 0.5335 | 0.7447 | 0.2017 |

可以看出当SINR较低时，天线相关性对Rank1和Rank2的分布不会产生太大的影响，而当SINR较高时（20dB以上），可以看出天线相关性越高，选择Rank1的比重越大。由于在系统中SINR很高的用户比例不大，所以两组仿真结果的Rank 总比例几乎一致。

从MCS等级分布上来看（R8\_A与R8\_C）：

图表 3.2 3.2 4.1‑17 不同天线相关性的MCS分布

|  |  |
| --- | --- |
| R8\_A MCS等级 | R8\_C MCS等级 |
|  |  |

由于两组结果的单流比例占80%，双流比例占20%，因此对于80%的单流来说，由于天线相关性高场景下特征值较大，能够达到更高的SINR，因此MCS能够取到更高的等级。而对于20%的双流来说，对于每个码字的MCS光从功率上就损失了一半，而且引入了流间干扰，导致MCS等级取的较低。总体上说，天线高相关性条件下MCS等级会比低相关性下的等级高。

在高/低相关性下强制双流发送，其仿真结果如下所示：

表格 4.1—10 SU-MIMO吞吐量统计

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| throughput | SU\_A | SU\_C |
| Cell ave | 1.1720 | 1.4133 |
| Cell edge | 0.0269 | 0.0295 |

由于是强制双流，所以对于原本就应该选择双流的用户（20%的用户）来说，在对吞吐量上贡献上没有变化；而对于原本应该选择单流的用户（80%的用户）来说，SINR较小的流上传输的码字肯定不能正确接收（对应特征值较小的流），而在SINR较大的流上，除了功率减小一半，还引入了流间干扰。



图 4.1—1 示意图

由于特征值较小的流传输错误，所以在搜索出的码本必然是与主特征方向夹角最小；令与的夹角为，则对于的SINR可以写成：



对于同样的量化误差，即值相等，由于有以及

因此对于主特征方向上可以得到，所以在强制双流的条件下，高相关性的性能依然比低相关性好。

图表 3.2 3.2 4.1‑18 强制双流下的MCS分布

|  |  |
| --- | --- |
| R8\_A MCS等级 | R8\_A MCS等级 |
|  |  |

由于是强制双流，MCS等级为0的比例比较突出，而在高相关性条件上，MCS较高的用户比例会多于低相关性条件的比例。

### 下行专利仿真结果与分析

仿真结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑19 下行专利仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| 不同beta参数配置下用户吞吐量CDF | 小区边缘用户吞吐量与beta值的关系 |
|  |  |
| CQI用作AMC与实际经历SINR的误差 |  |
|  |  |

表格 4.1—11吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Beta | 0 | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 |
| Avg. | 1.6654 | 1.6504 | 1.6665 | 1.6765 | 1.6713 | 1.6713 | 1.6564 | 1.6411 | 1.6037 |
| Edge | 0 | 0.0110 | 0.0143 | 0.0188 | 0.0202 | 0.0230 | 0.0261 | 0.0260 | 0.0275 |
| Beta | 0.8 | 0.9 | 1(normal PF) | | Interference avg | |  |  |  |
| Avg. | 1.5342 | 1.4174 | 1.2081 | | 1.2621 | |  |  |  |
| Edge | 0.0249 | 0.0219 | 0.0168 | | 0.0179 | |  |  |  |

从吞吐量CDF曲线仿真结果可以看出，对于小区边沿用户来说，吞吐率随着beta值的变化趋势是先增后降，这是由于如果beta较小，用户的公平性不能保证；而beta值较大，小区边缘的干扰变化较大，导致用户反馈的CQI不能在较短时间内保持稳定。从CQI用作AMC与实际经历SINR的误差可以看出，如果调度的PMI不变化，即beta=0，仅仅靠小尺度变化造成的CQI失真范围只是在-1到+1dB之间，而如果不对调度用户做约束，即beta=1，失真范围变化过大，远远超过了MCS等级的SINR间隔。从不同Beta值的吞吐量仿真结果来看，Beta取0.7较优。

### 上行36.814校准

上行36.814 CASE1 2D校准结果如下所示：

表格 4.1—12 36.814 CASE1 2D的校准结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Metric | calibration | simulation |
| Cell spectral efficiency | 0.74 | 0.7385 |
| Cell-edge user spectral efficiency | 0.031 | 0.0354 |

图表 3.2 3.2 4.1‑20部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量CDF | 载干比CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

上行36.814 UMa校准结果如下所示：

表格 4.1—13 36.814 UMa校准结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 36.814 UMa | ITTC |
| cell ave | 0.68 | 0.68 |
| cell edge | 0.026 | 0.022 |

部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑21部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量CDF | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| 上行每用户平均载干比 | 下行Geometry |
|  |  |
| Coupling Gain |  |
| C:\Users\yangbei\Documents\Tencent Files\835561504\Image\)[A%G]3~XF3[NZ@Z{@%8${S.jpg |  |

部分仿真参数如下表所示：

表格 4.1—14 部分仿真参数

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真时间 | 1drop 100prehot + 400TTI |
| 干扰平均方式 | 全时域全频域平均 |

### 上行自评估校准

上行ITU自评估校准结果如下所示：

表格 4.1—15 上行ITU自评估校准结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Rel-8 (A) Source 1 | 平均结果 | ITTC |
| cell ave | 1.55 | 1.55 | 1.6792 |
| cell edge | 0.078 | 0.069 | 0.0875 |
| IoT | 5.14 | 9.50 | 5.8671 |

从校准结果上看，平台的结果无论是从平均用户吞吐量还是小区边缘吞吐量上均高于自评估结果，可能原因是仿真所采用的MMSE检测算法是非常理想的MMSE IRC。

注：如非特殊说明，则MMSE检测算法均采用MMSE IRC。

部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑22部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| 吞吐量CDF | 平均每扇区吞吐量 |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| 上行每用户平均载干比 | 下行Geometry（蓝线为仿真结果 虚线为校准结果） |
|  |  |
| Coupling Gain（绿线为仿真结果 虚线为校准结果） |  |
| C:\Users\yangbei\Documents\Tencent Files\835561504\Image\)[A%G]3~XF3[NZ@Z{@%8${S.jpg |  |

部分仿真参数如下表所示：

图表 3.2部分仿真参数

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真时间 | 1drop 100prehot + 400TTI |
| 干扰平均方式 | 全时域全频域平均 |
| PF调度算法 | Riding Peaks |
| MMSE检测算法 | MMSE-IRC |

### 上行功率控制与IoT的仿真结果与分析

上行功率控制与IoT的仿真结果如下表所示：

图表 3.2上行功控与IoT的仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| P0(dBm) |  | IoT(dB) |
| -76 | 0.7 | 5.5111 |
| 0.8 | 44.705 |
| -78 | 0.7 | 3.8468 |
| 0.8 | 29.263 |
| -80 | 0.7 | 2.7964 |
| 0.8 | 19.165 |
| -82 | 0.7 | 2.1334 |
| 0.8 | 12.573 |
| -84 | 0.7 | 1.7151 |
| 0.8 | 8.3362 |
| -86 | 0.7 | 1.4512 |
| 0.8 | 5.6441 |
| -88 | 0.7 | 1.2847 |
| 0.8 | 3.9348 |
| -90 | 0.7 | 1.1796 |
| 0.8 | 2.8316 |

IoT是衡量上行干扰大小的一种指标。由上表仿真结果可以看到，随着P0的减小，IoT值也在减小，且P0越小，IoT变化的幅度也越小。而在相同P0的情况下， 为0.8时，IoT更大，IoT的变化幅度也更大。

### 上行提高MCS准确性不同方案的仿真结果与分析

由于上行调度的特点会导致上行干扰幅度波动比下行显著，调度时刻与下一时刻用户所经历的干扰产生较大偏差。因此，基站侧使用调度时刻的真实干扰会导致计算的SINR不准，从而使MCS选择不准确，一定程度上增加了HARQ重传，降低系统吞吐量。

为缓解上行干扰幅度变化较大导致的系统吞吐量下降，对以下几种提高MCS准确性的方案进行了仿真与性能评估：

注：以下所有仿真结果均在相同的随机数种子（2）下得到。

图表 3.2 提高MCS准确性的五种方案

|  |  |
| --- | --- |
| 1Tx8Rx PF MMSE | 说明 |
| CASE 1 干扰（线性）平均 | 全时域频域平均 |
| CASE 2 干扰（线性）平均 | 对前1个Sounding结果进行时域平均 |
| CASE3 干扰对数平均 | 对前一个Sounding结果进行时域对数平均 |
| CASE 4 OLLA | OLLA参数配置+0.1 -0.25 |
| CASE 5 +/-dB | 选MCS前，对载干比强制加4dB |

上述5个方案的仿真结果如下所示：

表格 4.1—16 五组方案吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | CASE 4 | CASE 5 |
| cell ave | 2.2565 | 2.2076 | 2.0546 | 2.3043 | 2.4333 |
| cell edge | 0.0800 | 0.1112 | 0.0591 | 0.0866 | 0.0941 |

图表 3.2 3.2 4.1‑23 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |
| CASE 5 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑24 上行每用户平均载干比

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |
| CASE 5 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑25 干扰仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |
| CASE 5 |  |
|  |  |

从吞吐量仿真结果看，干扰线性平均方案CASE2的小区边缘吞吐量在几种方案中最高，而平均吞吐量处于平均水平，因而在几组中性能较优。另外CASE1和CASE2采用了不同的时频平均方式，因而结果具有较大的差异，从一定程度上说明干扰线性平均方案的重点在于选择更为合适的时频平均范围。从上行平均用户载干比可以看出，干扰线性平均和直接在MCS选择上强制增加4db同样能够使MCS载干比与用户真实载干比更为接近，但是干扰线性平均采用不同的干扰平均方式可以调整估计干扰与真实干扰的CDF，从而将HARQ重传次数调整到一个较为合适的水平，便于2、4、8天线性能的比较。

基于以上考虑，决定上行采用在基站侧对干扰协方差进行（线性）平均的方法，据此估计UE可能受到干扰的大小，对干扰协方差进行平均一定程度上降低了干扰幅度的剧烈变化。

为选取合适的平均干扰协方差的时域和频域范围，进行了以下几组仿真，从不同的时间和频域范围中取最优结果所对应的时频平均范围为最终上行干扰平均方案。下表列出了几组不同的时频平均范围：

表格 4.1—17 四组不同的时频平均范围

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx2Rx PF MMSE | 时域平均范围 | 频域平均范围 |
| CASE 1 | 1个Sounding结果 | 不做平均 |
| CASE 2 | 1个Sounding结果 | 全频带平均 |
| CASE 3 | 3个Sounding结果 | 不做平均 |
| CASE 4 | 3个Sounding结果 | 全频带平均 |

以上四组仿真结果如下所示：

表格 4.1—18 不同时频平均范围吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | CASE 4 |
| cell ave | 1.0560 | 1.1332 | 1. 1403 | 1. 1429 |
| cell edge | 0. 0441 | 0.0372 | 0. 0448 | 0. 0376 |

图表 3.2 3.2 4.1‑26 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑27 上行每用户平均载干比

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑28 干扰仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

从吞吐量仿真结果看，CASE3在时域上对前3个Sounding的结果进行平均，频域上不平均的吞吐量最优，其平均用户吞吐量仅次于CASE4而边缘用户吞吐量最高。从干扰仿真结果上看，CASE1的估计干扰高于CASE3，CASE2和CASE4的估计干扰低于CASE3。估计干扰较高则选择MCS的载干比相对较低，所以上行每用户平均载干比仿真结果上可以看出，CASE1的MCS载干比相对CASE3的MCS载干比向右平移，而CASE2和CASE4向左平移。从HARQ仿真结果可以看出CASE1的首次传输成功概率只有57%，而CASE3的首次传输成功概率达到了72% 。原因是，CASE1的MCS载干比比CASE3选MCS的载干比的CDF更接近用户实际平均载干比，导致了CASE1情况下MCS选择一定程度上偏高，造成重传增加，浪费系统资源，导致吞吐量降低。CASE2和CASE4的重传情况均高CASE3在10%以上，而吞吐量没有CASE3好的原因在于，从MCS载干比CDF仿真结果上可以看出CASE2和CASE4较CASE3向左平移了约2dB，从而CASE2和CASE4的MCS选择较CASE3低，提高ACK概率的同时却由于MCS选择过低损失了一定系统性能。所以对干扰平均范围进行的选择实际上是在MCS和HARQ重传之间折中，达到系统吞吐量的最优。

基于上述仿真结果和分析，最终上行采用干扰（线性）平均方式，平均范围为时域上3个Sounding，频域不做平均。

### 上行不同站间距、天线数、检测算法仿真结果与分析

为验证不同站间距，天线数和检测算法对上行性能的影响，进行几组如下仿真：

表格 4.1—19 不同站间距，天线数和检测算法性能几组仿真方案

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx2Rx | MRC | MMSE IRC |
| ISD500 | CASE 1 | CASE 3 |
| ISD1732 | CASE 2 |  |
| 1Tx8Rx | MRC | MMSE IRC |
| ISD500 |  | CASE 4 |

注：以上仿真用例的载频都为2GHz

下表列出了吞吐量仿真结果：

表格 4.1—20 吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 | CASE 4 |
| cell ave | 0.7443 | 0.6750 | 1.1398 | 2.4633 |
| cell edge | 0.0222 | 0.0248 | 0.0387 | 0.1223 |

下表是部分中间结果：

图表 3.2 3.2 4.1‑29 吞吐量仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑30 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑31 MCS仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑32 上行用户平均载干比

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 | CASE 4 |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.1‑33 DL Geometry仿真结果

|  |
| --- |
| ISD500与ISD1732的DL Geometry比较 |
|  |

CASE1和CASE2比较ISD500和ISD1732的性能。从吞吐量上可以看出两者结果相近，平均ISD500略高于ISD1732，主要原因是站间距变大导致大尺度衰落变大的原因，中尺度UMa的更好一些，即计算载干比的信号和干扰都是ISD500的情况更好，但是从干扰上看ISD1732差的更多一些。ISD500的边缘用户吞吐量略低于ISD1732，主要原因在于上述解释中在边缘用户上效果更明显的原因。从

图表 4.1‑36的DL Geometry比较结果可以看出ISD500和ISD1732相差不是很大，因此对上行其他性能评估只需在ISD500下进行，ISD1732下情况应大体上相同。

CASE1和CASE3比较MRC和MMSE的性能。从吞吐量结果上看，MMSE相比于MRC在平均吞吐量上有53%增益，在边缘用户吞吐量上有74%的增益。上行每用户平均载干比上有约4dB增益。MRC没有对任何信道频选提供补偿，而MMSE在噪声、干扰和由无线信道频选特性引起的信号损伤之间提供折中。

CASE3和CASE4比较基站2收天线和8收天线性能。从吞吐量结果上看，8天线相比2天线在平均吞吐量上获得了116%的增益，边缘用户吞吐量上获得了216%的增益。8天线相对于2天线能够获得更多的分集增益，上行用户平均载干比相对于2天线向右平移8dB。

下表列出了部分仿真参数：

表格 4.1—21 部分仿真参数

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真时间 | 1drop 200prehot+500TTI |
| 干扰平均方法 | 时域前3个SRS结果，频域不平均 |
| 调度算法 | PF |

### 上行不同调度算法仿真结果与分析

上行支持轮询和PF调度算法，其中考虑单载波特性的PF调度支持两种不同的算法：

1. norm PF
2. Riding Peaks

对不同的调度算法进行两组比较，见下表：

表格 4.1—22 两组仿真比较方案

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | norm PF vs. Riding Peaks with MMSE IRC |
| CASE 2 | norm PF vs. Round Robin with MRC |

CASE1吞吐量仿真结果如下所示：

表格 4.1—23 CASE1吞吐量仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx 2Rx(cpa) | norm PF | Riding Peaks |
| cell ave | 1.1211 | 1.1441 |
| cell edge | 0.0406 | 0.0423 |

CASE1部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑34 CASE1部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| norm PF | Riding Peaks |
| 吞吐量CDF | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| MCS | |
|  |  |

从CASE1仿真结果可以看出，两种PF的调度算法性能相近，Riding Peaks要略好于norm PF。从吞吐量的CDF可以看出两种算法在80%的用户吞吐量上几乎是一致的，区别在于RP在较高吞吐量用户上的占有一定的优势。这源于两种算法本身的差异上。RP算法打乱子带顺序，对所有接纳用户在所有子带上的PF因子进行排序，从高到低取PF因子分配满足单载波特性的子带给用户，而norm PF算法则采用更为简单的逐子带分配法，在某个子带上算出所有接纳用户的PF因子，取满足单载波特性的最大者为调度用户。norm PF会产生某用户在某个子带上的信号质量特别好而由于按子带顺序调度到这个用户时不满足单载波特性而不能被调度到的情况，而该用户在RP算法中很可能由于信号质量非常好而排在PF因子集合的最前几个位置从而被调度到。这也可以从两个算法在HARQ上的差别看出来，即RP重传一定程度上好于norm PF。

CASE2吞吐量仿真结果如下所示：

表格 4.1—24 CASE2吞吐量仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx 2Rx(cpa) | norm PF | Round Robin |
| cell ave | 0. 7513 | 0. 6110 |
| cell edge | 0. 0267 | 0. 0137 |

CASE2部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑35 CASE2部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| norm PF | Round Robin |
| 吞吐量CDF | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| MCS | |
|  |  |

从CASE2仿真结果可以看出，PF算法在吞吐量上优于轮询算法，尤其体现在边缘用户吞吐量上有95%的增益，平均用户吞吐量上有23%的增益。这是由于PF算法提供在系统吞吐量和用户公平性的折中，相对于轮询算法在满足用户公平性的同时最大化系统吞吐量。

### 上行不同天线性能比较仿真结果与分析

为比较不同配置天线的性能，进行一下两组仿真：

表格 4.1—25 不同天线配置仿真CASE

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | ULA与CPA比较 |
| CASE 2 | 双极化与四极化比较 |

为比较ULA(Uniform Linear Array)和CPA(Cross Polarized Array)天线的性能差别，CASE1仿真采用理想0延时，即调度延时为0，调度后重新根据调度结果计算干扰，重新计算载干比，选择MCS。BS天线间距0.5。

CASE1仿真结果如下所示：

表格 4.1—26 CASE1仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx 2Rx | ULA | CPA |
| cell ave | 1.8208 | 1.5620 |
| cell edge | 0.0665 | 0.0594 |

CASE1部分中间结果：

图表 3.2 3.2 4.1‑36 CASE1部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| ULA | CPA |
| 吞吐量CDF | |
|  |  |
| MCS | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| 上行每用户平均载干比 | |
|  |  |
| DL Geometry | |
|  |  |

从CASE1结果可以看出，ULA性能优于CPA。主要原因在于发送天线为交叉极化情况下，在与用户天线极化垂直的方向上存在功率损失。因此性能较ULA差。接收。

CASE2吞吐量仿真结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑37 CASE2吞吐量仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1Tx4Rx | 双极化 | 四极化 |
| cell ave | 1.7904 | 1.2377 |
| cell edge | 0.0768 | 0.0366 |

CASE2部分中间结果如下所示：

图表 3.2 3.2 4.1‑38 CASE2部分中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| 双极化 | 四极化 |
| 吞吐量CDF | |
|  |  |
| MCS | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| 上行每用户平均载干比 | |
|  |  |

从以上CASE2仿真结果可以看出，双极化天线性能好于四极化天线，其原因和CPA好于ULA的原因类似，四根天线呈米字型和双极化的十字相比，用户接收存功率损失导致系统性能下降。

补充部分仿真参数：

表格 4.1—27 部分仿真参数

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真时间 | 3个drop，200 TTI预热+500 TTI统计 |
| 移动速度 | 3km/h |
| 干扰平均方式 | 全时域全频域平均 |

## 异构网仿真结果及校准

异构网的测试包括Configure1和Configure4b的仿真结果和分析，eICIC的仿真。

### Configure1和Configure4b仿真参数

表格 4.2—1 用户群分布参数

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Configuration | UE density across macro cells\* | UE distribution within a macro cell | New node distribution within a macro cell | Comments |
| 1 | Uniform  25/macro cell | Uniform | Uncorrelated | Capacity enhancement |
| 4b | Non-uniform\*\*\* | Clusters | Correlated\*\* | Hotspot capacity enhancement |

### Configure1仿真结果

表格 4.2—2 Configure1 仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Macro ue | RIM | ITTC |
| Macro ue | 46.20% | 47.16% |
| Micro ue | 53.80% | 52.84% |

图表 3.2 3.2 4.2‑1 Configure1 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| Total Coupling gain | Macro Coupling gain |
|  |  |
| Micro Coupling gain | Total Geometry |
|  |  |
| Macro Geometry | Micro Geometry |
|  |  |

### Configure4b仿真结果

表格 4.2—3 Configure4b仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | RIM | ITTC |
| Macro ue | 29.62% | 31.23% |
| Micro ue | 70.38% | 68.77% |

图表 3.2 3.2 4.2‑2 Configure4b 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| Total Coupling gain | Macro Coupling gain |
|  |  |
| Micro Coupling gain | Total Geometry |
|  |  |
| Macro Geometry | Micro Geometry |
|  |  |

### eICIC仿真结果分析

在异构场景下，采用eICIC时域方案，其中ABS有两种配置：ZP(Zero-Power)、LP(Low Power)，分别表示在ABS子帧时，Macro是否有数据发送，即功率是否为0。在ZP-ABS上，只能调度Pico的用户，不能调度Macro用户；在LP-ABS时，可以调度Macro小区的中心用户，且这些用户在功率上有一定的降低。在非ABS子帧上，Pico尽量调度中心用户，以避免Macro对Pico的强干扰。

如下是zero与LP的结果比较

图表 3.2 3.2 4.2‑3 zero与LP的结果比较

|  |  |
| --- | --- |
| 用户谱效率CDF | MCS比较 |
|  |  |
| HARQ比较 |  |
|  |  |

MCS等级9是QPSK的最高等级，LP有MCS restriction，等级9会比较突出；

主要参数：

Configure 4b；

R8 2x2 precoding；

CRE-bias 6dB；

LP-bias 6dB；

MCS restriction QPSK；

表格 4.2—4 zero与LP的仿真结果统计

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | ALL UE | Macro UE | Pico UE |
| LP | Average | 2.545 | 1.2117 | 3.2323 |
| 50% | 1.76 | 1.0440 | 2.5963 |
| 5% | 0.257 | 0.1959 | 0.3593 |
| Zero | Average | 2.707 | 0.4083 | 3.8933 |
| 50% | 2.02 | 0.3231 | 3.1577 |
| 5% | 0.141 | 0.0827 | 0.9334 |

从以上仿真结果可以看出：

LP的平均用户吞吐量低于Zero；

LP的边缘用户吞吐量可以高于Zero；

通过lower power子帧，会使pico用户的平均和边缘吞吐量降低，但是可以提升Macro用户的边缘吞吐量；

## FTP业务源仿真结果及校准

本节对Non-Full Buffer，FTP业务进行仿真及校准结果的分析。

### FTP厂商校准

仿真参数如下表所示：

表格 4.3—1 FTP厂商校准参数

|  |  |
| --- | --- |
| Parameter | Values used for evaluation |
| Cell Topology | 7 cells, 3 sectors per cell, 10UEs per sector |
| Deployment scenario/channel model | ITU Base Coverage Urban(UMa) |
| Duplex method and bandwidths | FDD:10 MHz |
| Inter Site Distance | 500 m |
| Frequency carrier | 2 GHz |
| Antenna configuration eNB | Vertically polarized,10.0 wavelength separation with 10 deg antenna downtilt. |
| DL transmission scheme | SU-MIMO with closed loop precoded spatial multiplexing |
| BS macro gain | 17 dBi |
| Noise figure | 7dB |
| Sector max power | 46 dBm |
| UE max power | 24 dBm |
| Urban macor sector antenna height | 25 m |
| UE antenna height | 1.5 m |
| Penatration | 9 dB |
| UE velocity | 30 km/h |
| DL scheduler | Propotional fair / Channel dependent |
| DL link adaptation | Non-frequency selective PMI and frequency selective CQI report with 5ms periodicity.  RI reports with 10ms periodicity.  Considering 6ms feedback delay. |
| DL HARQ scheme | Chase combining |
| DL channel estimation | Ideal |
| DL receiver type | MMSE with IRC |
| overhead | R8 SU-MIMO overhead |
| simulation time | 25 s |

采用7小区，每小区3扇区，每扇区10用户的系统配置。HARQ最大重传次数设置为12，OLLA关闭。仿真结果如下表所示：

表格 4.3—2吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| offered load 16  LOS | Served cell throughput (Mbps) | Mean user data rate (Mbps) | 50% user data rate (Mbps) | 5% user data rate (Mbps) | RU % |
| ITTC | 33.0044 | 4.1443 | 2.9410 | 0.9030 | 99.8756 |
| 厂商 | 25.7715 | 1.3422 | 1.0883 | 0 | 99.52 |

表格 4.3—3 仿真统计

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真参数 | |
| offered load (Mbps) | 48 |
|  | 6.0 |
| 数据统计结果 | |
| 接纳用户数 | 210 |
| 有统计结果的用户数 | 201 |
| 产生文件个数 | 1001 |
|  | 5.7200 |

图表 3.2 3.2 4.3‑1其他仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| UE throughput CDF | FTP 业务状态比例构成 |
|  |  |
| HARQ传输次数 | RANK |
|  |  |
| MCS统计 |  |
|  |  |

### FTP不同小区数仿真结果与分析

为仿真不同小区数情况下的性能差异，仿真总用户数基本保持一致，对单小区、7小区和19小区进行了仿真，不同CASE如下表所示：

表格 4.3—4 仿真CASE说明

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | 1Cell、3Sector/Cell、10User/Sector、、HARQ重传次数12 |
| CASE 2 | 7Cell、3Sector/Cell、10User/Sector、、HARQ重传次数12 |
| CASE 3 | 19Cell、3Sector/Cell、10User/Sector、、HARQ重传次数12 |

以下为仿真结果：

表格 4.3—5 小区数仿真数据统计结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CASE | Case 1 | Case 2 | Case 3 |
| Offered Load /cell（Mbps） | 48 | | |
| /cell | 6.0 | | |
| 性能结果 | | | |
| Cell Throughput （Mbps） | 51.1980 | 33.0044 | 29.0178 |
| UE Throughput （Mbps） | 27.7015 | 4.1443 | 4.8661 |
| 50% UE Throughput （Mbps） | 26.0846 | 2.9410 | 3.6930 |
| 5% UE Throughput （Mbps） | 6.4180 | 0.9030 | 0.8190 |
| RU | 52.7350 | 99.8756 | 96.5540 |
| 数据统计结果 | | | |
| 接纳用户数 | 30 | 210 | 570 |
| 有统计结果的用户数 | 30 | 201 | 545 |
| 产生文件个数 | 168 | 1001 | 2340 |
|  | 0.3537 | 5.7200 | 4.9263 |

图表 3.2 3.2 4.3‑2 FTP业务比例构成

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑3 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑4 RANK仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑5 MCS仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

从以上结果可以看出，在相同的offered load下，随着小区数的增加，用户平均吞吐量以及边缘用户吞吐量呈逐级递减的趋势。单小区相对7小区和19小区，因没有来自inter-cell的干扰，RANK2比例和MCS等级相对增高。从7小区和19小区仿真结果看，增加第二圈干扰小区对系统吞吐量性能上只有小幅影响，RANK比例、MCS等级以及HARQ上19小区略有下降。在RU近似的情况下小区吞吐量略有下降。

### 不同offered load时的对比

下表是对单小区不同offered load的仿真结果，HARQ最大重传次数为12。

表格 4.3—6 FTP不同offered load仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CASE | Case 1 30 | Case 2 48 | Case 3 60 |
| Offered Load /cell（Mbps） | 30 | 48 | 60 |
| /cell | 3.75 | 6.0 | 7.5 |
| 性能结果 | | | |
| Cell Throughput （Mbps） | 26.2389 | 45.4383 | 54.0777 |
| UE Throughput （Mbps） | 41.5472 | 29.1781 | 23.8098 |
| 50% UE Throughput （Mbps） | 38.8340 | 26.1630 | 20.1510 |
| 5% UE Throughput （Mbps） | 18.3480 | 8.5190 | 7.5180 |
| RU | 16.2328 | 30.2145 | 38.5179 |
| 数据统计结果 | | | |
| 接纳用户数 | 86 | 132 | 164 |
| 有统计结果的用户数 | 80 | 124 | 146 |
| 产生文件个数 | 88 | 153 | 190 |
|  | 3.5200 | 6.12 | 7.6 |

图表 3.2 3.2 4.3‑6 UE throughput CDF仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑7 FTP业务状态构成仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑8 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑9 RANK仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑10 MCS仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

从以上仿真结果可以看出，随着offered load的增大，小区吞吐量和RU递增，同时用户平均吞吐量及边缘用户吞吐量逐渐减小。随着负载的增加，系统中同时接纳的用户数逐渐增加，从而3个扇区间的相互干扰呈递增趋势，因此，RANK2比例下降，HARQ变差和MCS等级降低。在轻负载情况下，不同offered load对RU的影响非常大。

### FTP HARQ仿真结果与分析

从之前4.3.2节的仿真结果已可以看出，在小区数为7和19时，FTP业务因HARQ重传造成的丢包率非常高。从对提案的分析考虑，应对FTP业务考虑高层RLC的重传机制，对如下三个CASE进行仿真，分析HARQ对FTP业务造成的影响。

表格 4.3—7 FTP HARQ仿真不同CASE

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | HARQ最大重传次数为4 |
| CASE 2 | 考虑RLC层ARQ最大重传次数为3，即这时HARQ最大重传次数为12 |
| CASE 3 | 强制设置HARQ ACK为true |

表格 4.3—8 FTP HARQ仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CASE | Case 1 harq 4 | Case 2 harq 12 | Case 3 harq ack |
| Offered Load /cell（Mbps） | 48 | | |
|  | 6.0 | | |
| 性能结果 | | | |
| Cell Throughput （Mbps） | 18.4677 | 33.0044 | 25.7361 |
| UE Throughput （Mbps） | 3.6074 | 4.1443 | 3.7628 |
| 50% UE Throughput （Mbps） | 2.6812 | 2.9410 | 2.4030 |
| 5% UE Throughput （Mbps） | 0.8570 | 0.9030 | 0.6740 |
| RU | 96.6121 | 99.8756 | 82.0905 |
| 数据统计结果 | | | |
| 接纳用户数 | 210 | 210 | 210 |
| 有统计结果的用户数 | 175 | 201 | 193 |
| 产生文件个数 | 1064 | 1001 | 844 |
|  | 6.0800 | 5.7200 | 4.8229 |

图表 3.2 3.2 4.3‑11 UE throughput CDF仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑12 FTP业务状态比例构成仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑13 HARQ仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑14 RANK仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

图表 3.2 3.2 4.3‑15 MCS仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
|  |  |
| CASE 3 |  |
|  |  |

从CASE 1和CASE2的比较可以看出，考虑到RLC层重传机制后，小区吞吐量有大幅提高，用户平均吞吐量和边缘用户吞吐量也有提高，主要原因从FTP业务状态构成来看，考虑RLC ARQ，即适当增大HARQ最大重传次数使HARQ丢包率降低了42%。对比CASE2和CASE3仿真结果，将HARQ强制为ACK，并不能带来系统性能的增益，可以理解为因其MCS等级低而浪费了系统资源，同时在小区边缘对邻小区造成更大的干扰，使得系统中丢包率上升，导致了系统整体性能的下降。RU比例的降低是由于不同引起的。

### FTP OLLA仿真结果与分析

在下行Full Buffer平台中，OLLA可以明显提高下行系统性能。于是，在下行FTP平台中，使用OLLA CASE2参数配置进行了仿真，HARQ最大重传次数为12，结果如下表所示。

表格 4.3—9 FTP OLLA仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| CASE | harq 12 | harq 12 olla |
| Offered Load /cell（Mbps） | 48 | |
|  | 6.0 | |
| 性能结果 | | |
| Cell Throughput （Mbps） | 29.5761 | 21.5763 |
| UE Throughput （Mbps） | 5.0698 | 2.4301 |
| 50% UE Throughput （Mbps） | 3.8670 | 1.7363 |
| 5% UE Throughput （Mbps） | 0.8420 | 0.7220 |
| RU | 96.6605 | 97.2365 |
| 数据统计结果 | | |
| 接纳用户数 | 210 | 210 |
| 有统计结果的用户数 | 202 | 182 |
| 产生文件个数 | 856 | 768 |
|  | 4.8914 | 4.3886 |

图表 3.2 3.2 4.3‑16 其他中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
| UE throughput CDF | |
|  |  |
| FTP业务状态比例构成 | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| RANK | |
|  |  |
| MCS | |
| . |  |

从上述结果可以看出，开启OLLA并没有如下行Full Buffer仿真结果一样带来系统性能上的增益，反而显著降低了小区吞吐量和用户吞吐量。从中间结果可以看出OLLA使得HARQ重传次数上升明显，造成系统丢包率上升，这和系统性能的下降有直接关系。通过对FULL BUFFER中不同OLLA参数配置下的性能仿真中已经得出结论，不同的OLLA参数配置对系统HARQ和吞吐量均有影响，且这种影响是双向的，即，可能升高/降低HARQ重传次数和系统吞吐量。因此，可以认为以上结果是由于FTP业务所适用的OLLA参数与Full Buffer不同所引起的，且由于FTP存在丢包导致负面影响较为明显。

### FTP不同调度算法的仿真结果与分析

上文中所有仿真结果均使用原Full Buffer下PF调度，而FTP可根据其业务特性对基本的PF算法进行优化，本节对基本的PF算法和优化后的WPF进行比较，HARQ最大重传次数为12，仿真结果如下所示。

表格 4.3—10 FTP不同调度算法仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| CASE | pf | wpf |
| Offered Load /cell（Mbps） | 48 | |
|  | 6.0 | |
| 性能结果 | | |
| Cell Throughput （Mbps） | 9.8587 | 9.1577 |
| UE Throughput （Mbps） | 5.0698 | 4.7150 |
| 50% UE Throughput （Mbps） | 3.8670 | 3.2520 |
| 5% UE Throughput （Mbps） | 0.8420 | 0.8605 |
| RU | 96.6605 | 97.7340 |
| 数据统计结果 | | |
| 接纳用户数 | 210 | 210 |
| 有统计结果的用户数 | 202 | 191 |
| 产生文件个数 | 856 | 839 |
|  | 4.8914 | 4.7943 |

图表 3.2 3.2 4.3‑17 其他中间结果

|  |  |
| --- | --- |
| CASE 1 | CASE 2 |
| UE throughput CDF | |
|  |  |
| FTP业务状态比例构成 | |
|  |  |
| HARQ | |
|  |  |
| RANK | |
|  |  |
| MCS | |
|  |  |

从上述仿真结果可以看出，WPF在延时丢包率上有小幅增益，但其代价却是系统吞吐量和用户速率的降低。WPF算法能够有效降低实时与非实时混合业务以及实时、非实时多速率混合业务中的业务延时，减少不同GBR实时/非实时业务延时丢包率，提高QoS。由于目前平台只支持单一文件大小的FTP业务，所以对标准PF的优化未能体现出优势。

## OLLA 仿真结果

### OLLA SU RANK1功能验证

为确保OLLA实现的正确性，对SU-MIMO RANK1的OLLA进行了相关的程序实现确认，分别对反馈延时0ms和1ms进行了仿真功能验证。OLLA仿真参数为+0.05/-0.45。

1. **反馈0ms延时仿真验证**

0延时是指在当前TTI调度后，根据当前调度结果重新计算载干比并进行MCS选择，进行0延时仿真验证OLLA实现的准确性。

仿真中反馈延时为0，反馈周期1ms，接收机Ideal MMSE IRC。

OLLA Delta仿真结果如下所示：

表格 4.4—1OLLA 0延时仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA Delta | SINR |
| UE ID 23 | distance:53.117371 |
|  |  |
| UE ID 72 | distance:235.957458 |
|  |  |

对于0延时只存在2种情况：一是如用户23可以看出用户距离基站距离近，SINR远高于CQI最高等级19dB，MCS处于最高等级，HARQ ACK一直为1，即，传输成功，符合OLLA delta一直为0的情况；二是如用户72由于选MCS的码字载干比与真实载干比非常接近，最初进行选择的MCS准确度很高，因此OLLA delta处于在0到1之间波动状态。

1. **反馈1ms延时仿真验证**

仿真中反馈周期1ms，反馈延时为1ms。

仿真结果如下：

表格 4.4—2OLLA 1延时仿真结果

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| OLLA Delta | SINR | 信号/干扰功率 |
| UE ID 23 | distance:53.117371 | |
|  |  |  |
| UE ID 72 | distance:235.957458 | |
|  |  |  |

对于1延时也存在用户2信道条件特别好的情况下OLLA delta一直保持不变的现象，即一直满足MCS为最高等级的情况。对于其他用户，可以从载干比结果看出真实码字载干比（蓝线）与量化/无量化码字载干比（红/绿线）有较大差别。从结果看应该属于干扰波动较大的用户。分别用对数平均求码字上的检测后信号功率和干扰功率，从结果看码字干扰功率波动较大是码字载干比波动的主要原因。

上述图中，对于每个UE，仅当在某个TTI被调度到时，才进行相关结果统计，即横坐标的最大值为该UE被调度到的TTI总数。

### OLLA SU RANK1性能分析

从0节的分析可知，干扰波动是OLLA delta波动的主要原因。为验证之前上下行尝试的平缓干扰波动的方式在采用OLLA时的性能，进行了如下两组仿真：

1. 在反馈周期1ms时，仿真验证干扰计算是否包含小尺度，下行PMI BETA值和反馈延时对OLLA Delta的影响。
2. 在常用参数，即，反馈周期5ms，反馈延时6ms时，SU-MIMO RANK1 的OLLA仿真与性能分析。

本节仿真接收机采用Ideal MMSE IRC。

1. **反馈周期1ms仿真**

对以下4个CASE进行仿真比较，OLLA仿真参数为+0.05/-0.45：

表格 4.4—3不同仿真CASE

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 仿真实例 | 反馈延时（ms） | 反馈周期（ms） | 干扰计算 | PMI Beta |
| CASE 0 | 1 | 1 | 含小尺度 | 1.0 |
| CASE 1 | 1 | 1 | 不含小尺度 | 1.0 |
| CASE 2 | 1 | 1 | 不含小尺度 | 0.0 |
| CASE 3 | 5 | 1 | 不含小尺度 | 1.0 |

表格 4.4—4吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Throughput | CASE 0 | CASE 1 | CASE 2 | CASE 3 |
| Cell ave | 1.6765 | 1.4949 | 2.1258 | 1.4719 |
| Cell edge | 0.0435 | 0.0392 | 0.0000 | 0.0383 |

从CASE 0和CASE 1、CASE2的比较可以看出，反馈干扰计算不含小尺度和PMI BETA值设为0都可以平缓信号与干扰功率的波动幅度。一定程度上使OLLA在一定时间内趋于收敛。

**CASE0与CASE1比较**

对比CASE0和CASE1可以看到，信号功率波动幅度变缓，原因可能是反馈PMI/CQI干扰不计算小尺度，从而使用户PMI选择趋于平缓，使得信号功率波动变缓；同时，当干扰计算不含小尺度时，干扰的变化范围仍然较大，但变化速率较为缓慢。此外，CASE1比CASE0载干比CDF整体左移了2-4dB，引起吞吐量下降，这说明由于小尺度信道变化快，造成带时延的CSI反馈不准确；但由于时域信道变化的连续性，带小尺度的干扰计算能够更好地匹配信道状况。同时应注意，在FTP业务中，由于干扰变化剧烈，通过多个样本求平均可达到一定平滑作用，情况与Full buffer会有所不同。

**CASE1与CASE2比较**

CASE 2的PMI BETA等于0意味着调度到用户的PMI一直保持不变，而结果仍然显示了信号和干扰存在一定程度上的波动，原因在于调度用户的PMI不变，但用户可以改变。另外，信号与干扰功率变化相对，但是变化量不恒定，原因可能是用户调度到不同的子带上。

**CASE1与CASE3比较**

从CASE1和CASE3比较可以看出，反馈延时1ms和延时5ms在系统性能和OLLA上的差别不大。

表格 4.4—5CASE 0仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Throughput CDF | | SINR CDF | |
|  | |  | |
| MCS | | HARQ | |
|  | |  | |
| OLLA Delta | SINR | | 信号/干扰功率 |
| UE ID 72 | distance:235.957458 | | |
|  |  | |  |
| UE ID 472 | distance:194.288071 | | |
|  |  | |  |

表格 4.4—6CASE 1仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Throughput CDF | | SINR CDF | |
|  | |  | |
| MCS | | HARQ | |
|  | |  | |
| OLLA Delta | SINR | | 信号/干扰功率 |
| UE ID 72 | distance:235.957458 | | |
|  |  | |  |
| UE ID 472 | distance:194.288071 | | |
|  |  | |  |

表格 4.4—7CASE 2仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Throughput CDF | | SINR CDF | |
|  | |  | |
| MCS | | HARQ | |
|  | |  | |
| OLLA Delta | SINR | | 信号/干扰功率 |
| UE ID 72 | distance:235.957458 | | |
|  |  | |  |
| UE ID 472 | distance:194.288071 | | |
| 没调度 | | | |

表格 4.4—8CASE 3仿真结果

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Throughput CDF | | SINR CDF | |
|  | |  | |
| MCS | | HARQ | |
|  | |  | |
| OLLA Delta | SINR | | 信号/干扰功率 |
| UE ID 72 | distance:235.957458 | | |
|  |  | |  |
| UE ID 472 | distance:194.288071 | | |
|  |  | |  |

1. **常用参数配置仿真**

对以下几个仿真CASE进行比较：

注：CASE 0 3 4 5 是在CQI修改BUG后的结果，CASE 1 2是在修改 CQI BUG前的结果。修改后结果略微下降，HARQ下降。

表格 4.4—9不同仿真CASE

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 仿真实例 | OLLA开关 | 反馈干扰计算 | 干扰平均方式 | OLLA参数 |
| CASE 0 | Off | 含小尺度 | 不平均 | +0.05 / -0.45 |
| On |
| CASE 1 | Off | 不含小尺度 |
| On |
| CASE 2 | Off | 含小尺度 | 全频域平均 |
| On |
| CASE 3 | Off | 时域3CRS平均 |
| On |
| CASE 4 | On | +0.1 / -0.25 |
| CASE 5 | On | 不平均 |

表格 4.4—10不同CASE的吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| throughput | CASE 0 | | CASE 1 | | CASE 2 | | CASE 3 | | CASE 4 | CASE 5 |
| off | on | off | on | off | on | off | on |
| Cell ave | 1.4988 | 1.5903 | 0.8108 | 1.4375 | 1.7754 | 1.6688 | 1.6080 | 1.6853 | 1.6841 | 1.7400 |
| Cell edge | 0.0390 | 0.0409 | 0 | 0.0391 | 0.0357 | 0.0314 | 0.0422 | 0.0403 | 0.0447 | 0.0440 |

从CASE 0—3 OLLA Off的吞吐量结果来看，反馈干扰计算包含小尺度最优，干扰不进行平均和进行时域3CRS平均较优。相对于CASE 0，CASE 1的载干比CDF左翼4—6dB，CASE 2右移1—2 dB，CASE3基本一致。CASE 0、CASE 1、CASE 3的HARQ初传成功概率均在60%，而CASE 2的初传成功概率达到91%。4个CASE的MCS最高等级比例均在0.3左右，其中CASE 3稍低一些。从上述的比较可以看出，CASE 1的反馈干扰不含小尺度使得干扰估计大部分偏小，使得MCS等级选择偏高，导致HARQ较低的时候吞吐量下降严重。从CASE 3的HARQ初传成功概率较高和边缘用户吞吐量上获得的8%增益可以看出反馈干扰进行时域平均对边缘用户有好处。

从OLLA on的结果看，OLLA在很大程度上是降低MCS等级从而提高HARQ传输成功概率，从而提高系统性能。对比CASE 0与CASE 5，CASE 3与CASE 4可以看出，OLLA参数+0.05/-0.45可以显著提高HARQ首次传输成功概率至90%左右，+0.1/-0.25可以提高HARQ首次传输成功概率74%，后者的MCS等级整体高于前者，扇区平均吞吐量和小区边缘吞吐量均是后者高于前者。为获得吞吐量增益，OLLA参数配置是在HARQ和MCS等级间的折中，因此，**参数+0.1/-0.25较为适合本系统平台的仿真场景。**同时，对于Full buffer建议采用以下配置：

* 干扰计算含小尺度
* 干扰不进行频域平均
* 干扰不进行时域平均

表格 4.4—11CASE 0仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

图表 3.2 4.4‑10 CASE 1仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

表格 4.4—12CASE 2仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

表格 4.4—13CASE 3仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

表格 4.4—14CASE 4仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

表格 4.4—15CASE 5仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |

### OLLA SU RANK Adaptive性能分析

根据0节的性能分析，本节对RANK自适应仿真采用干扰计算包含小尺度频域不平均的方式，对不同接收机性能进行仿真。仿真CASE如下：

表格 4.4—16SU RANK自适应不同仿真CASE

|  |  |
| --- | --- |
| 仿真实例 | 接收机 |
| CASE 0 | Ideal MMSE OPT1 |
| CASE 1 | Ideal MMSE IRC |
| CASE 2 | CRS based practical MMSE IRC |
| CASE 3 | DMRS based practical MMSE OPT1 |
| CASE 4 | DMRS based practical MMSE IRC |

注：CASE 0 和 CASE 1仿真时间为100prehot+400TTI，其他CASE为200prehot+500TTI。

仿真结果如下所示：

表格 4.4—17ideal MMSE吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Throughput | CASE 0 OPT1 | | CASE 1 IRC | |
| OLLA | On | Off | On | Off |
| Cell ave | 1.5010（+9.0%） | 1.3770（0.0%） | 1.7325（+25.8%） | 1.5844（+15.1%） |
| Cell edge | 0.0251（+5.9%） | 0.0237（0.0%） | 0.0439（+85.2%） | 0.0358（+51.1%） |

表格 4.4—18practical MMSE吞吐量仿真结果

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Throughput | CASE 2 CRS IRC | | CASE 3 DMRS OPT1 | | CASE 4 DMRS IRC | |
| OLLA | On | Off | On | Off | On | Off |
| Cell ave | 1.6888(+22.64%) | 1.5468 (12.3%) | 1.4102(+24.10%) | 1.2944(-6.0%) | 1.5130(+22.34%) | 1.5130(+9.88%) |
| Cell edge | 0.0304 (+28.27%) | 0.0273(+15.19%) | 0.0118(-50.21%) | 0.0120(-49.37%) | 0.0273(+15.19%) | 0.0257(-8.44%) |

从ideal MMSE接收机的结果可以看出Ideal MMSE IRC在用户平均吞吐量和边缘用户吞吐量上均有10%以上的增益，边缘用户吞吐量增益在50%以上。 仿真中天线配置为四发两收，从RANK比例可以看出单流所占比例在80%以上，此时接收天线数大于流数，IRC可以不仅可以消除流间干扰还可以消除小区间干扰。MMSE OPT1假设接收天线受到的小区间干扰符合AWGN，即干扰协方差是一个单位阵，因此仅能较好的对抗流间干扰，单流时等效于MRC接收机。从SINR CDF可以看出ideal IRC比OPT1有2~3dB的好处。

从practical MMSE的三组仿真结果可以看出，实际接收机在用户平均吞吐量和边缘用户吞吐量上均有损失。但基于DMRS的practical MMSE在边缘用户吞吐量上的损失远超于基于CRS的practical MMSE，同时大部分损失可以由OLLA来弥补。可能原因在于基于同一MSE曲线进行的信道误差估计，基于CRS的接收机考虑了3 dB的power boosting。

表格 4.4—19CASE 0 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |

表格 4.4—20CASE 1 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |

表格 4.4—21CASE 2 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |

表格 4.4—22CASE 3 仿真结果

|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |

表格 4.4—23CASE 4 仿真结果

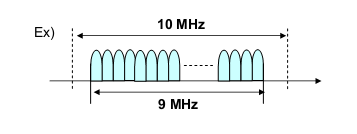
|  |  |
| --- | --- |
| OLLA On | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |
| OLLA Off | |
| Throughput CDF | SINR CDF |
|  |  |
| MCS | HARQ |
|  |  |
| RANK |  |
|  |  |

## 开销计算

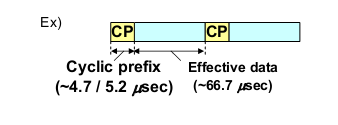
系统及仿真平台下行支持在程序内进行每RB扣除开销计算，R8、R10两种开销扣除方式可配。上行平台不支持程序内扣除开销，需在平台外处理数据时考虑在内。下面对上下行开销计算进行了说明。

### 上行开销计算

保护带宽（10%）（1MHz/10MHz）



保护区间（6.67%）（Normal CP）



CQI/ACK/NCK on PUCCH : 4PRB/10MHz

DM-RS:每子帧两个OFDM符号（~14.3%）

SRS：全带宽上，10msec周期（~0.7%）

PRACH：全带宽上，10msec周期内6个RB（1.2%）

上行SRS 周期为5ms，所以取t=5ms。

表格 4.5—1 上行开销计算

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| total (100%) | | 12 \* 14 \* 50 \* t=5 | 42000 |
| PUSCH (14.46%) | DRS | 12 \* 2 \* 46 \* t=5 | 5520 |
| SRS | 12 \* 1 \* 46 \* t=1 | 552 |
| PUCCH (8.0%) | CQI / ACK/NCK on PUCCH:  4 PRB / 10 MHz | 12 \* 14 \* 4 \* t=5 | 3360 |
| PRACH (1.2%) | | 6RB bandwidh and 10msec period (1.2 %) | |
| current overhead | | 14.46% + 8.0% + 1.2% = 23.66% | |

### 下行开销计算

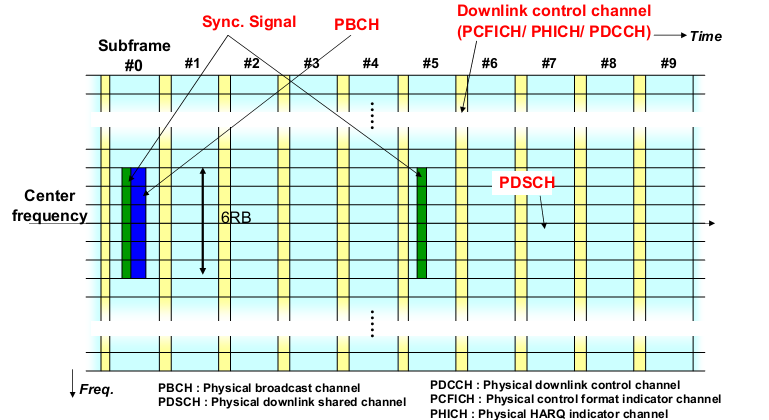
保护带宽（10%）（1MHz/10MHz）

保护区间（6.67%）（Normal CP）

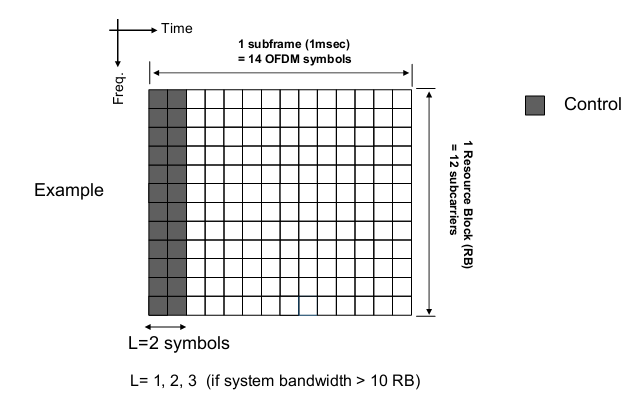
PBSH 和 Sync.Signal:

BCH块：4OFDM 符号\*6RB

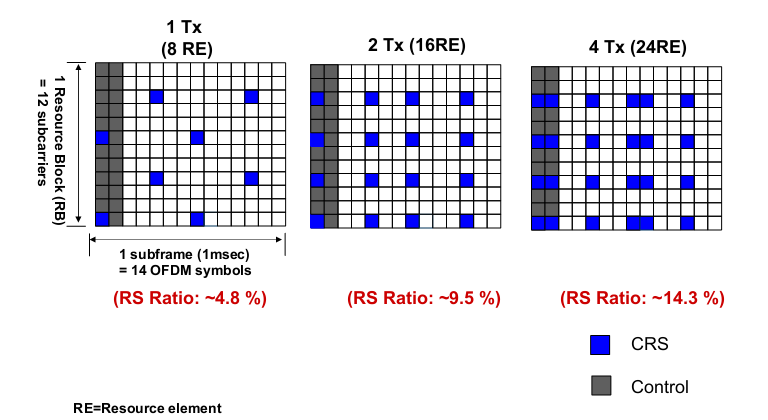
同步信号数据块：4OFDM符号\*6RB



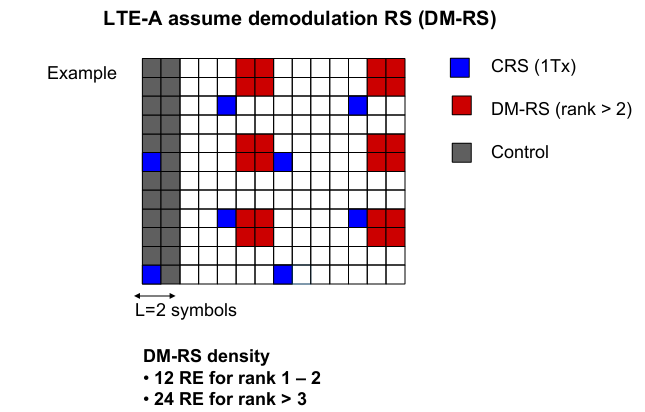
L1/L2控制信道



CRS：



DM-RS：



CSI-RS：

LTE-A支持CSI-RS用户CSI测量

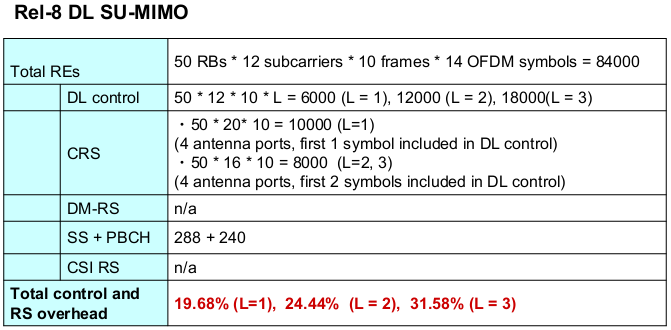
CSI-RS在时频域离散分布

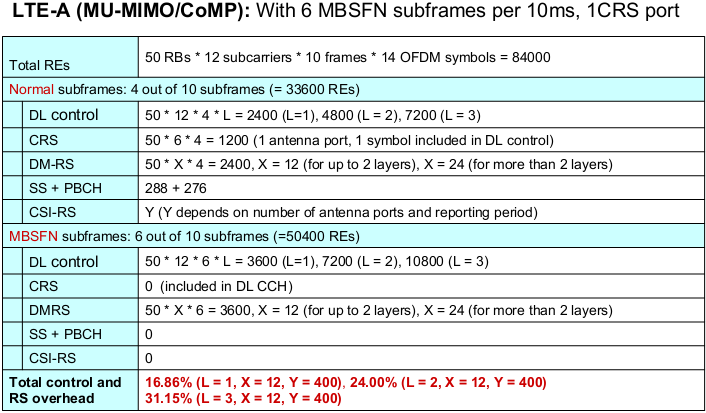
MBSFN子帧：

LTE-A能配置MBSFN子帧调度非MBSFN数据

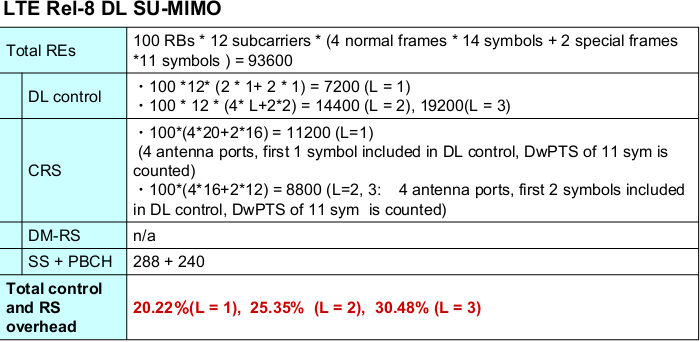


FDD:





TDD:





### 下行TM4开销计算

表格 4.5—2下行TM4开销计算

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Total (100%) | 50\*12\*10\*14 | 84000 |
| DL control (21.43%) | 50\*12\*10\*3 | 18000 |
| CRS (9.52%) | 50\*16\*10 | 8000 |
| SS+PBCH (0.63%) | 288+240 | 528 |
| current overhead | 21.43% + 9.52% + 0.63% = 31.58% | |

表格 4.5—3 下行TM4每RB开销计算

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| subframe | Tx Num | 是否有SS/PBCH | overhead (RE) = total RE - DL contrl channel - CRS - CSI-RS – (SS) |
| 0 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 4 - 6\*12 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 – 8 - 6\*12 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 6\*12 |
| 5 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2\*12 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 12- 2\*12 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 2\*12 |
| 1/2/3/4/6/7/8/9/10 | 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 | |
| 2 | 12\*14 -3\*12 - 12 | |
| 4 | 12\*14 -3\*12 - 16 | |

### 下行TM9开销计算

图表 3.2 3.2 4.5‑1 下行TM9每RB开销计算

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| subframe | Rank | Tx Num | 是否有SS/PBCH | overhead (RE) = total RE - DL contrl channel - CRS - CSI-RS – (SS) – (PBCH) - DMRS |
| 0 | 1 & 2 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 4 - 0 - 6\*12 - 6 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 - 2 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 6\*12 - 6 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 4 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 6\*12 - 6 |
| 3 & 4 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 4 - 0 - 6\*12 - 12 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 - 2 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 6\*12 - 12 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 4 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 6\*12 - 12 |
| 5 | 1 & 2 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 0 - 2\*12 - 6 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 - 2 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 2\*12 - 6 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 4 - 12 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 0 - 2\*12 - 6 |
| 3 & 4 | 1 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 0 - 2\*12 - 12 |
| 2 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 12 - 2 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 8 - 0 - 2\*12 - 12 |
| 4 | 0 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 4 - 24 |
| 1 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 0 - 2\*12 - 12 |
| 1/2/3/4/6/7/8/9/10 | 1 & 2 | 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2/csirsperiod - 12 | |
| 2 | 12\*14 -3\*12 - 12 - 2/csirsperiod - 12 | |
| 4 | 12\*14 -3\*12 - 16 – 4/csirsperiod - 12 | |
| 3 & 4 | 1 | 12\*14 -3\*12 - 6 - 2/csirsperiod - 24 | |
| 2 | 2\*14 -3\*12 - 12 - 2/csirsperiod - 24 | |
| 4 | 12\*14 -3\*12 - 16 - 4/csirsperiod - 24 | |

# 附录A 参考文献

[1] 3GPP TS 36.201: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer – General Description".

[2] 3GPP TS 36.211: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation".

[3] 3GPP TS 36.212: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding".

[4] 3GPP TS 36.213: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures".

[5] 3GPP TS 36.814: “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects”.

# 附录B 修改记录

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **修改历史** | | | | |
| **日期** | **修改人** | **备注** | **旧版本** | **新版本** |
| 2012-07 |  | 文档模板更新 | 1.0.0 | 1.1.0 |
| 2012-12 |  | 内容更新 | 1.1.0 | 1.2.0 |
| 2013-05 | 李志成 | 内容更新 添加OLLA部分 | 1.2.3 | 1.2.4 |