



LTE 多用户下行吞吐量性能建模分析

文志成

(诺基亚通信科技公司, 北京 100028)

摘要:针对 LTE 系统中多用户下行吞吐量难以预测的问题,从 LTE 系统的时域和频域资源出发,结合用户位置、终端类型以及下行 MIMO 模式等内容,分析了多用户条件下时域和频域调度算法的特点、影响因素和作用过程。并在此基础上建立了多用户下行吞吐量分析和估算模型,进而应用此模型对具体实例进行了预测和分析,从而对多用户性能分析工作起到一定的指导作用。

关键词:多用户调度;多用户下行吞吐量;下行吞吐量建模分析

中图分类号:TN929

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016265

LTE multi-user downlink throughput performance modeling and analysis

WEN Zhicheng

Nokia Telecommunication Technology Co., Ltd., Beijing 100028, China

Abstract: Aiming at LTE multi-user downlink throughput, it was analyzed that from time domain and frequency domain of LTE resources, user location, UE category and downlink MIMO modes, also combined with the characteristics, influencing factors, action processes of time-domain and frequency-domain scheduling algorithms under multi-user conditions. The multi-user downlink throughput analysis and estimation model was then built based on this, and the model was used to analyze a real example. It would be beneficial for LTE performance optimization.

Key words: multi-user scheduling, multi-user downlink throughput, downlink throughput modeling and analysis

1 引言

LTE 系统优化工作中,多用户下行吞吐量是一项重要的性能指标,因为它既可以反映不同用户的真实感受,也有助于分析多用户调度算法的优劣。但是 LTE 多用户性能受多种因素的影响,难以进行测试和评估。本文在分析多用户调度算法和影响因素的基础上,借助用户特征对定点多用户性能进行建模,并采用实例予以验证,从而有助于实现多用户性能的定量分析,对实际测试和优化工作起到

一定的指导作用。

2 分析思路

对 LTE 小区中多个用户进行分析时,需要从小区资源和用户特征入手,结合系统调度特性,全面分析各个用户的性能预期和性能表现。其中,小区资源指小区带宽及参数配置等内容,而用户特征则指用户所在的位置、无线环境及终端类型等特性,调度特性则包括时域和频域两大方面。

对上述各个要素深入分析并映射到 LTE 相关的参数和指标上,有助于定量进行性能分析工作。具体表述如下。

(1)LTE 小区资源

LTE 系统中,资源分为频域和时域两大类。频域资源指 PRB(physical resource block,物理资源块),它以 RBG(resource block group,资源块组)为单位进行分配,时域资源则以 TTI(transmission time interval,传输时间间隔)为单位进行调度。多个用户共享 TTI 和小区的 PRB 资源。

不同带宽所提供的 PRB 数不同,同时小区内可用 PRB 数目还受系统消息等因素的影响。

(2)用户位置

通常情形下,多个用户处于小区内的不同位置上。与基站之间的距离差异使得用户接收功率有所不同。另外,处于小区中心或者边缘时,由于信道相关性的区别,系统还可能基于用户上报的秩(rank indicator,RI)对用户设定不同的下行 MIMO 模式。

(3)终端类型

终端类型对应 3GPP TS36.306 中规定的 UE category (类型)。不同类型的 UE 所支持的 TBS (transport block size,传输块大小)、码字数目以及缓存大小有区别,从而对下行吞吐量产生影响^[4]。

(4)调度特性

根据 UE 特性和小区资源等因素,调度算法决定 UE 的调度频度、PRB 资源的分配准则以及下行 MIMO 模式等内容,从而对多用户性能起着决定性作用。

下面对各种影响因素予以详细分析和说明,在此基础上建立理论分析模型,并对多用户的下行吞吐量性能采用具体实例进行验证。

3 LTE 小区资源

3.1 频域资源

LTE 支持多种带宽,如 5 MHz、10 MHz、15 MHz 以及

20 MHz。5 MHz 下,系统包含 25 个 PRB,而 20 MHz 下则包含 100 个 PRB。但是,下行方向上传送系统消息时,也会占用 PRB 资源,从而对 PDSCH 的可用 PRB 数目造成影响。

系统为用户分配 PRB 时,需要以 RBG 为最小分配单位。RBG 是多个 PRB 的组合,其所包含的 PRB 的数目因带宽而异。5 MHz 下,一个 RBG 中包含 2 个 PRB,10 MHz 下包含 3 个 PRB,15 MHz 和 20 MHz 下则都包含 4 个 PRB^[2]。特定带宽范围内所包含的 RBG 个数计算如下:

$$\text{RBG 个数} = \text{Roundup}[\text{带宽内 PRB 总数} / \text{单个 RBG 中所包含的 PRB 个数}] \quad (1)$$

其中,Roundup 表示向上取整。如果 PRB 总数不能被 RBG 中所包含的 PRB 数整除,则余数即最后一个 RBG 中所包含的 PRB 个数。不同带宽所对应的 PRB 数目及 RBG 信息详见表 1。

3.2 时域资源(共享 TTI 的用户数)

LTE 系统中,时域的最小调度单位为 TTI,即每个 TTI 调度一次。TTI 长度为 1 ms,它可以同时调度多个用户,因此每个 TTI 中同时调度的用户数目对系统性能会产生影响。

4 用户特征

用户特征主要从用户位置、终端类型以及 MIMO 特性等方面进行分析。

4.1 用户位置

小区中的多个定点用户随意分布时,它们与基站间的距离不同,从而产生路径损耗(path loss)差异。路径损耗指发射信号传送通路上的信号的所有增益及衰耗的总和。基站发射功率减去路径损耗后,就是 UE 所接收到的信号强度(reference symbol received power,RSRP)。因此,对不同位置上的 UE 来说,路径损耗不同,其接收功率也不相同。

简单来讲,RSRP 与系统底噪间的差值就是 SINR (signal to interference plus noise ratio)。不存在干扰的情况下,系统底噪相对确定,因此,不同位置上 UE 间的 SINR 也不相同。

表 1 不同带宽对应的 PRB 数目及 RBG 信息

系统带宽/MHz	PRB 总数	RBG 大小(即每个 RBG 所包含的 PRB 数目)	RBG 总数	各个 RBG 中 PRB 个数说明
5	25	2	13	12 个 RBG 中 PRB 的个数为 2,1 个 RBG 中 PRB 的个数为 1
10	50	3	17	16 个 RBG 中 PRB 的个数为 3,1 个 RBG 中 PRB 的个数为 2
15	75	4	19	18 个 RBG 中 PRB 的个数为 4,1 个 RBG 中 PRB 的个数为 3
20	100	4	25	25 个 RBG 中 PRB 的个数都为 4



干扰不会对 RSRP 产生影响,但是会导致系统底噪抬升,从而影响到 SINR。因此不同位置和不同干扰环境下,UE 的 SINR 可能存在很大的差异,测试过程中需要具体分析。

4.2 终端类型

不同 UE 的类型决定了其所支持的 TBS 大小、层数以及缓存量,从而限制了 PRB 的数目。以 cat3 为例,其最大支持的单码字大小为 75 376 bit,但是最大支持的双码字大小为 102 048 bit,也就是说 2 个码字时平均每个码字只有 51 024 bit,详见表 2^[3]。

表 2 UE 类型与 TBS 关系示例

UE 类别	单个 TTI 中所能传送的最大 TBS/bit	单个 TTI 中所传送的 TBS 中包含的最大比特数/bit
cat3	102 048	75 376
cat4	150 752	75 376

多用户调度过程中,系统为每个用户分配 PRB 资源时,需要考虑 UE 的类型,保证所分配的 PRB 资源既能满足 UE 的性能需求,又不造成浪费,以便提高资源利用率。根据 3GPP TS36.213,PRB 的数目通常由 TBS 和 I_{TBS} 共同来决定。无线环境较好时, I_{TBS} 为 26,cat4 终端支持的单码字 TBS 为 75 376,则 20 MHz 带宽内的 100 个 PRB 都可以分配给 cat4 用户。而 cat3 终端所支持的单码字 TBS 仅为 51 024 bit,从而只能分配 69 个 PRB(简单起见,这里未考虑 RBG 的限制),见表 3。

4.3 下行 MIMO 模式的影响

下行 MIMO 模式取决于多种因素,如无线信道的状态(如散射低或者高)、信号质量(采用 SINR 予以测量)、用户终端的移动速度以及不同接收天线上的信号间的相关性等。

对于多用户来说,小区附近或者中心的多个空间信道相互独立,信道相关性较弱;而在小区边缘,多径分量少,各空间信道之间的相关性较强。因此,小区内多用户同时调度时,处于中心的用户可使用空间复用模式,采用 2 个码字同时接收数据;而小区边缘用户则只能使用发送分集模式,采用单码字接收数据。假设码字大小(即 TBS)相同,则小区中心和边缘用户的下行吞吐量相差一倍^[4]。

5 调度特性

LTE 下行方向上,时域和频域调度通常独立进行。时

表 3 TBS 与 PRB 关系示例

NPRB	ITBS	
	25	26
61	39 232	45 352
62	39 232	45 352
63	40 576	46 888
64	40 576	46 888
65	40 576	48 936
66	42 368	48 936
67	42 368	48 936
68	43 816	51 024
69	43 816	51 024
70	43 816	52 752
91	57 336	66 592
92	59 256	68 808
93	59 256	68 808
94	59 256	68 808
95	61 664	71 112
96	61 664	71 112
97	61 664	71 112
98	61 664	73 712
99	63 776	73 712
100	63 776	75 376

域负责对用户进行排序,频域负责分配 PRB 等资源。因此,时域调度特性决定了 UE 的调度频度,而频域调度特性则决定了 UE 的资源配置,二者对 UE 的下行吞吐量性能都起着非常关键的作用。

5.1 时域调度

系统以 TTI(即 1 ms)为单位进行调度,且每个 TTI 内所能调度的 UE 的数目是有限的,因此如果需要调度的用户数超过单个 TTI 的调度门限,则需要采用多个 TTI 分时调度。从多个用户中选择部分用户进行调度时,需要考虑用户的业务类别、调度优先级、缓存状态以及当前速率等特性^[5]。说明如下。

(1) 业务类别

不同业务所对应的 QCI(QoS class identifier,QoS 等级标识)特性不同,则映射到 MAC 层时,需要采用具有不同调度优先级的无线承载,这将影响 UE 的调度频度。

(2) RLC 缓存状态

某用户的 RLC 缓存处于满(stall)的状态时,表示该用户已发送的 RLC 数据分组尚未予以确认,因此 RLC 窗口指针无法及时释放,则该 UE 在下一个 TTI 内无法发送新分组,该用户不进入时域调度队列。

(3)MAC 缓存状态

如果 UE 对应的 MAC 缓存中暂时没有数据需要发送,也不需要送入调度队列。

(4)UE 当前和历史速率

采用正比公平调度方式时,系统会根据 UE 的调度历史来对 UE 进行排队,因此 UE 的时域特性也受限于 UE 的当前和历史速率。

5.2 频域调度

频域资源主要包括 PRB。针对 UE 的无线特性信息进行 PRB 分配,进行 MCS(modulation and coding scheme,调制编码方式)和 TBS 选择,是频域调度的主要内容。频域调度的主要影响因素包括 PRB、SINR、CQI(channel quality indicator,信道质量指示)以及 RI 等。

多个用户共享一定带宽内的 PRB 资源时,每个用户所分配的 PRB 数目由下行调度算法来决定。最简单的是平均分配的方式,即所有 PRB 资源在调度队列中的所有用户间平均分配。但由于 PRB 分配时还受 RBG 的限制,从而每个用户所分配的 PRB 数目还需要具体分析。

下行调度过程中,单个 UE 的 MCS 和 TBS 由下行信道质量和 PRB 数共同决定。SINR 是下行通路上信号与干扰和噪声功率之间的比值,它反映了下行信号的接收质量。UE 可根据下行 SINR 信息来选取 CQI 并上报,用以辅助 eNode B 进行下行调度工作^[6]。不同位置上 UE 的 SINR 不同,则所上报的 CQI 值不同,从而影响到 MCS 和 TBS 的选取,最终造成下行吞吐量间的差异。

RI 表示空间信道之间的相关性,它决定了同时下发的 TBS 的数目。RI 为 2 时,系统可以同时下发 2 个码字;

RI 为 1 时,则只能同时下发 1 个码字。

5.3 多 UE 频域分配方式举例

由于 PRB 以 RBG 为单位进行分配,因此进行多用户调度时,在每个调度周期内,即使平均进行资源分配,各个用户所得到的 PRB 数目也可能存在差异,举例说明如下。

假定多用户平均分配 PRB,且所分配的 PRB 受 UE 类型的限制,则 PRB 数简单计算为:

$$\text{UE 所分配的 PRB 数目} = \min(\text{PRB 总数} / \text{剩余 UE 数目}, \text{UE 特性所决定的 PRB 数目}) \quad (2)$$

系统带宽为 10 MHz 时,根据表 1 可知,可用 PRB 数为 50 个,RBG 大小为 3,则 RBG 个数为 17 个,其中一个 RBG 中 PRB 个数为 2 个,其余 RBG 中 PRB 数目都是 3 个。假定 6 个用户同时参与调度,则根据式(2)可以计算每个 UE 所能够分配的 PRB 数目。考虑到 RBG 的限制,且 PRB 个数为 2 个的 RBG 优先分配,则 6 个用户实际所分配的 PRB 数目见表 4。

上述分配结果表明,6 个 UE 中首先参与分配的 UE 可分配多达 11 个 PRB,而后续 UE 则只能分配到 9 个或者 6 个 PRB。虽然单个 TTI 中 UE 的调度顺序会影响到 PRB 分配结果,但实际调度过程中,UE 的调度频度和调度顺序受多种因素影响,因此从统计意义上看,总体上参与调度的各个 UE 所分配的 PRB 均值差异不会太大。当然,测试过程中,还建议结合 UE 的业务特征以及无线参数等因素予以具体分析。

6 多 UE 下行吞吐量估算方法

下行吞吐量可以通过 1 个 TTI 内所传送的下行数据块

表 4 多 UE 基于 RBG 的 PRB 资源分配方式示例

UE 调度序号	基于式(2)所计算的 PRB 分配值	基于 RBG 所分配的 PRB 数目	剩余 UE 数	剩余 PRB 数	说明
UE1	9	11	5	39	6 个 UE,50 个 PRB,每个 UE 平均分配 9 个 PRB,实际分配 11 个(其中 2 个 PRB 的 RBG 优先分配后还需要 3 个其他 RBG),剩余 PRB 39 个
UE2	8	9	4	30	5 个 UE,39 个 PRB,每个 UE 平均分配 8 个 PRB,实际分配 9 个,剩余 PRB 30 个
UE3	8	9	3	21	4 个 UE,30 个 PRB,每个 UE 平均分配 8 个 PRB,实际分配 9 个,剩余 PRB 21 个
UE4	7	9	2	12	3 个 UE,21 个 PRB,每个 UE 平均分配 7 个 PRB,实际分配 9 个,剩余 PRB 12 个
UE5	6	6	1	6	2 个 UE,12 个 PRB,每个 UE 平均分配 6 个 PRB,实际分配 6 个,剩余 PRB 6 个
UE6	6	6	0	0	1 个 UE,6 个 PRB,每个 UE 平均分配 6 个 PRB,实际分配 6 个,PRB 分配完毕



的大小(即 TBS)来计算。结合上述分析结果,TBS 是由 PRB 和 TBS 索引或者 SINR 共同决定的,PRB 受 UE 数目、路径损耗、SIB (系统信息)及干扰等因素的影响,SINR 则与 RSRP 和干扰有关系。同时,RI 由 MIMO 算法以及信道状况所决定,它限制了同时传送的 TBS 的数目^[7]。另外,受限于业务类型、MAC 缓存状态、调度优先级以及同时调度的最大用户数等因素,单个用户的调度频度也会有所不同。

基于以上各种影响因素和调度算法建立简单的模型,就可以估算多用户条件下的单用户下行吞吐量。建模过程如下。

6.1 建模输入信息

结合上述分析,建模过程中所需要的主要信息如下。

- 小区内可用 PRB 数目为 PRB_{total} (不考虑系统信息 SIB 的影响)。
- 用户总数为 n , 一个 TTI 内可以同时调度的用户数为 N 。
- 调度单位,即 TTI,为 1 ms。
- 用户所反馈的 CQI。
- UE 所反馈的 RI。它决定了可同时传送的 TBS 数目。
- TBS、PRB 以及 TBS 索引等之间的关系,根据 3GPP TS36.213 或者厂商算法获取。

3GPP TS36.213 中,由 PRB 以及 TBS 索引共同决定 TBS。但是不同厂商对 TBS 索引的理解不同。比如,DoCoMo 专利中,TBS 大小由 PRB 与 SINR 共同决定,而 SINR 由 eNode B 根据 CQI 来获取。

- CQI 与 SINR 间的影射关系。

SINR 与 CQI 存在一定的对应关系。不同厂商的对应关系不同,需要借助仿真结果来进行设定,eNode B 根据 CQI 获知 UE 的 SINR 信息(此处具体算法可能因厂商而异)。

6.2 建模分析过程

结合以上参数和时域和频域综合调度特性,LTE 多用户下行吞吐量建模分析过程如下。

6.2.1 时域调度分析

时域调度主要考虑用户调度频度和调度次数。

- 单用户调度概率 P ,由参与调度的用户总数 n 所决定,受限与调度优先级等因素。仿真过程中假定各个用户调度概率都相同。
- 1 s 内单个 UE 调度次数(UE_{Sched})。由于吞吐量以 s 为单位,所以需考虑 1 s 内单用户调度总次数。它由每个 TTI 内所同时调度的用户总数所决定,即 $UE_Sched = 1\,000 P$ 。
- 对于调度概率 P 和单个 UE 调度次数,需要根据

TTI 内可以同时调度的用户数 N 和用户总数 n 之间的关系来分别处理。如果 TTI 内可以同时调度的用户数 N 大于用户总数 n ,即每个 TTI 内所有 UE 都可以得到调度,则单用户调度概率为 1,1 s 内 UE 总调度次数为 1 000 次。如果 TTI 内可以同时调度的用户数 N 小于用户总数 n ,则多用户需要分时进行调度,调度概率粗略估算为 $1/n$ 。由于 1 s 内包含 1 000 个 TTI,则总调度次数为 $N \times 1\,000$ 。总调度次数乘以每个 UE 的调度概率 P ,即 $N \times 1\,000 \times P$ 为该 UE 的实际调度次数。

6.2.2 频域调度分析

频域调度主要对用户的 TBS 进行选择,因此需要借助 PRB、CQI、SINR 以及 RI 等参数进行建模分析。

- 单用户 PRB 数:单个 UE 平均所获取的 PRB 数目为 PRB_total/N (注意这里为单个 TTI 内同时调度的用户数,而非参与调度的 UE 总数)。
- 借助 3GPP TS36.213 或者厂商仿真结果,eNode B 根据 CQI 获取 SINR 或者 TBS_索引(I_{TBS}),并根据单用户 PRB 数和 SINR(或 I_{TBS})获取 TBS。
- TBS 总和(TBS_{sum}):结合 TBS 和 RI 值计算 TBS 总和。
- TTI 内单用户下行吞吐量(Thr_{TTI}):采用 TBS_{sum} 和 TTI(ms)相除,即可得到单用户吞吐量 Thr_{TTI}。

6.2.3 时域和频域综合分析

多用户条件下,由于并非每个 TTI 内 UE 都得以调度,所以还需要借助该 UE 的调度次数来对频域吞吐量计算结果进行加权处理。即采用 UE 的调度次数与 TTI 内单用户吞吐量进行相乘,才能获取多用户条件下分时调度的单用户的最终吞吐量(Thr_{final})。

上述时域和频域多用户下行吞吐量总体建模和分析流程如图 1 所示。

7 多 UE 下行吞吐量结果示例

以 10 MHz 下的 FDD 系统为例,假定采用 12 个 UE 进行测试,其中 UE#1~8 处于小区中心位置,UE#9~12 处于小区边缘。UE#1~4 所对应的 CQI 为 14,RI 都是 2;UE#5~8 所对应的 CQI 都为 9,但其中 UE#5~7 的 RI 为 2,UE#8 的 RI 为 1;UE#9~12 所对应的 CQI 都是 5,RI 都是 1,如图 2 所示。

CQI 与 SINR 对应关系、SINR 和 PRB 以及 TBS 之间的映射关系举例见表 5。

各 UE 下行吞吐量的具体估算过程见表 6。

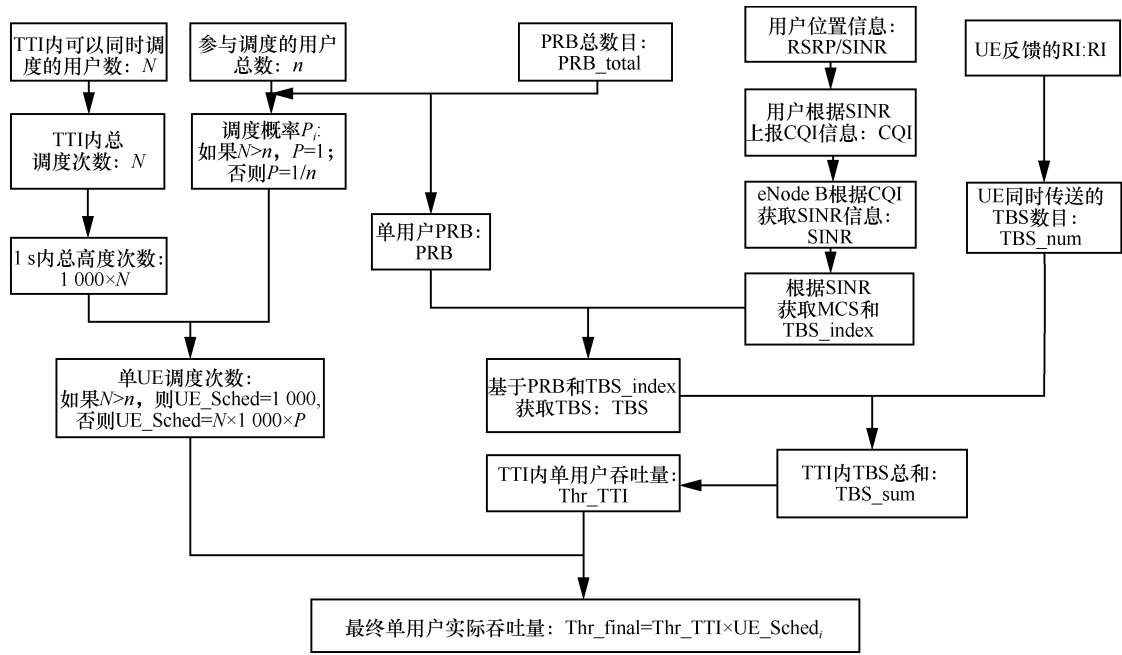


图 1 多 UE 下行吞吐量建模分析思路

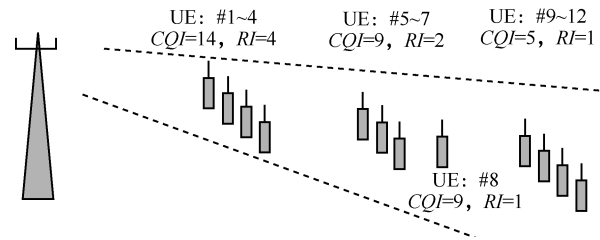


图 2 多 UE 测试实例示意

表 5 CQI 与 SINR 对应关系、SINR 和 PRB 以及 TBS 对应关系

CQI	SINR	PRB=9 时对应的 TBS
5	1.3	936
9	8.7	2 600
14	18.4	5 544

表 6 采用分析模型来估算 12 个 UE 的下行吞吐量

用户编号	信道质量指示 (CQI)	秩指示 (RI)	信号与干扰和噪声的比值 (SINR)	单用户 PRB 数	传输块大小 (TBS)	结合 RI 考虑每个 TTI 的吞吐量 (Thr _{total})	调度概率 (P)	1 s 内所包含的 TTI 数	总调度次数 (Sched _{total})	单 UE 调度次数 (以调度概率 P 加权)	最终单用户下行吞吐量/(kbit·s ⁻¹)	最终单用户下行吞吐量/(Mbit·s ⁻¹)
UE#1	14	2	18.4	9	5 544	11 088	8.33%	1 000	6 000	500	5 544	5.544
UE#2	14	2	18.4	9	5 544	11 088	8.33%	1 000	6 000	500	5 544	5.544
UE#3	14	2	18.4	9	5 544	11 088	8.33%	1 000	6 000	500	5 544	5.544
UE#4	14	2	18.4	9	5 544	11 088	8.33%	1 000	6 000	500	5 544	5.544
UE#5	9	2	8.7	9	2 600	5 200	8.33%	1 000	6 000	500	2 600	2.600
UE#6	9	2	8.7	9	2 600	5 200	8.33%	1 000	6 000	500	2 600	2.600
UE#7	9	2	8.7	9	2 600	5 200	8.33%	1 000	6 000	500	2 600	2.600
UE#8	9	1	8.7	9	2 600	2 600	8.33%	1 000	6 000	500	1 300	1.300
UE#9	5	1	1.3	9	936	936	8.33%	1 000	6 000	500	468	0.468
UE#10	5	1	1.3	9	936	936	8.33%	1 000	6 000	500	468	0.468
UE#11	5	1	1.3	9	936	936	8.33%	1 000	6 000	500	468	0.468
UE#12	5	1	1.3	9	936	936	8.33%	1 000	6 000	500	468	0.468



从频域上来看,10 MHz 下 PRB 总数 PRB_{total} 为 50,且同时调度的用户数 N 为 6,则单用户 PRB 数为 PRB_{total}/N ,即约为 9 个。根据 CQI 查表 5 获取 SINR 值,并根据 SINR 获取特定 PRB 下的 TBS,乘以 RI 后即可得到 TTI 内传送的 TBS 总和。

从时域上看来,12 个用户参与调度,则每个用户的平均调度概率为 8.33%。采用 1 s 来计算下行吞吐量,则相当于 1 000 个 TTI,而每个 TTI 内同时调度 6 个用户,则总调度次数为 6 000 次,每个 UE 的调度次数为 $6\,000 \times 8.33\% = 500$ 次,将每次调度的 TBS 大小与调度次数相乘,并换算成 Mbit/s,就是最终的结果。

结果显示,各用户均匀调度的情况下, $CQI=14$ 的用户距离基站比较近,且 $RI=2$,可以得到约 5.5 Mbit/s 的下行吞吐量。 $CQI=9$ 的用户采用 $RI=2$ 时得到约 2.6 Mbit/s 的下行吞吐量, $RI=1$ 时得到约 1.3 Mbit/s 的下行吞吐量。 $CQI=5$ 的用户采用 $RI=1$,只能得到约 0.468 Mbit/s 的下行吞吐量。

需要说明的是,上述例子是基于某厂商算法的估算结果,测试结果与此结果相比有所差别。存在差异的原因在于估算中假定 PRB 资源平均分配,且没有考虑 RBG 的影响,另外时域调度以 TTI 为单位,所以用户调度频度估算方面也存在一些偏差。但是,借助建模来进行分析,无疑向多用户下行吞吐量的定量分析化方面前进了一大步。

更为重要的是,不同厂商的调度算法不同,CQI 与 SINR 的对应关系、TBS 的选择过程也存在差异。因此需要从测试厂商的算法入手进行建模和分析,才能得到更为合理和准确的估算结果,并需要借助测试结果对评估模型进行校正。

8 结束语

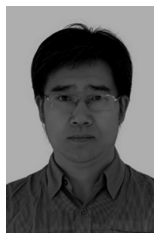
依据 LTE 系统资源、用户特征和调度算法对多用户的下行吞吐量进行建模分析,有助于对多用户下行吞吐量结果进行预测,从而对测试过程起到一定的指导作用。但是,调度算法和参数等受到多种因素的影响,比如:高速会对 SINR 取值产生影响,业务类型会对频域调度优先级和顺序产生影响,业务流量特性(如是否满流传送)都会对资源利用率产生影响等,因此实际测试过程中这些因素都直接

影响下行吞吐量结果,未来如果需要进一步准确分析,还需要根据厂商具体调度算法,建立更加精准的估算模型,为测试工作提供更好的参考和指导作用。

参考文献:

- [1] 文志成, 元新峰. FDD LTE 无线性能与影响因素分析[J]. 通信技术, 2013(2): 70-74.
WEN Z C, QI X F. FDD LTE radio frequency network performance and influential factors analysis [J]. Information and Communications Technologies, 2013(2): 70-74.
- [2] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical layer procedures(release 9): TS36.213 V12.8.0[S/OL]. (2010-09-17)[2016-08-22]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2016-06/Rel-9/36_series/.
- [3] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); user equipment (UE) radio access capabilities(release 12): TS36.306 V12.7.0 [S/OL].(2012-04-28)[2016-08-22]. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/2016-06/Rel-12/36_series/.
- [4] 陈书贞, 张旋, 王玉镇, 等. LTE 关键技术与无线性能[M]. 北京: 机械工业出版社(第 1 版), 2012.
CHEN S Z, ZHANG X, WANG Y Z, et al. LTE key technology and radio performance[M]. Beijing: China Machine Press, 2012.
- [5] 株式会社都科摩. 基站装置、用户装置以及通信控制方法: CN 101675691[P]. 2013-07-10.
NTT DoCoMo. Base station device, user device, and communication control method: CN 101675691[P]. 2013-07-10.
- [6] 株式会社都科摩. 信道状态信息的反馈、处理方法和装置及用户设备和基站: CN 103297176A [P]. 2013-09-11.
NTT DoCoMo. Channel status information feedback, process, user equipment and base station: CN 103297176A [P]. 2013-09-11.
- [7] 朱雪田, 安晓东, 高羽, 等. TD-LTE 无线性能分析与优化[M]. 北京: 电子工业出版社(第 1 版), 2014.
ZHU X T, AN X D, GAO Y, et al. TD-LTE radio performance analysis and optimization [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2014.

[作者简介]



文志成(1970-),男,诺基亚通信科技公司高级工程师,主要从事 5G 产品需求分析和产品管理等工作,曾参与《通用分组无线业务——GPRS》《UMTS 系统无线协议与信令流程——从 R99 到 HSDPA 和 HSUPA》《LTE 空中接口技术与性能》以及《LTE 关键技术与无线性能》等书籍的编写工作。