



4G 移动通信终端数据吞吐量测试研究

康 亮,宋连波,孙 龙,朵 灏

(中国信息通信研究院 北京 100191)

摘 要:4G 移动通信终端的数据吞吐量测试是验证终端数据吞吐量是否能够达到标准要求的方法,对保障用户的高速接入有重要意义。介绍了 3 种主要的数据吞吐量测试方法:仪表测试、室内网络测试和外场测试;从测试环境可控性、测试效率、问题复现定位、贴近用户体验等方面,比较了当前主要测试方法之间的优劣,并展望了未来的发展趋势。

关键词:数据吞吐量;仪表测试;室内网络测试;外场测试

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015140

Research on 4G Mobile Terminal Data Throughput Test

Kang Liang, Song Lianbo, Sun Long, Duo Hao

(China Academy of Information and Communication Technology, Beijing 100191, China)

Abstract: Data throughput test of 4G mobile terminal was used to validate whether the data throughput can meet the standard requirements, which has important influence on ensuring the high speed access. Three algorithms of the data throughput test: instrument test, indoor network test, and field test, were introduced. Comparing the test environment, efficiency, problem reproduction and user experience, an introduction of the current status of data throughput test algorithm was given. Furthermore, a trends of the development in the future was presented.

Key words: data throughput, instrument test, indoor network test, field test

1 引言

随着移动通信技术的不断发展,中国的移动通信已经进入了第四代(4G)移动通信技术时代;2014 年初,中国三大运营商第三代(3G)移动通信用户数已超过 4 亿人;2013 年底,4G 移动通信牌照发放,之后市场迅猛发展。截至 2014 年 12 月,仅中国移动的 4G 移动通信用户已突破 8 000 万人大关;根据预测,2015 年仅中国移动的 4G 移动通信用户数就将达到 2.5 亿人。

在移动通信技术不断演进、移动互联网蓬勃发展的过

程中,移动终端的定位也发生了重大改变。智能手机不断更新换代,简单的功能机在加速淘汰。手机对于用户来说,不仅仅只是一个语音通话的工具,更是用户和世界交互的一个窗口,它承载了绚丽多彩的移动互联网业务,给用户提供了多样化的体验和服务。

不管何种方式的信息交互和业务应用,都离不开底层数据的高速传输。智能手机端到端的数据吞吐量性能是一切上层应用的底层保障。从第二代(2G)移动通信技术向 3G 移动通信技术、4G 移动通信技术演进的过程中,数据吞吐量发生了翻天覆地的变化。2G 移动通信时代,通用分

收稿日期:2015-02-05;修回日期:2015-06-09

论文引用格式:康亮,宋连波,孙龙等. 4G 移动通信终端数据吞吐量测试研究. 电信科学, 2015140

Kang L, Song L B, Sun L, *et al.* Research on 4G mobile terminal data throughput test. Telecommunications Science, 2015140



组无线服务 (GPRS) 技术的理论下行峰值速率为 100~200 kbit/s;3G 移动通信时代,宽带码分多址(WCDMA)版本 4(R4)的理论下行峰值速率为 3.84 Mbit/s;到了 4G 移动通信时代,分长期演进(TD-LTE)版本 9(R9)的下行峰值速率已经超过了 100 Mbit/s。

移动终端是用户和外界交互的最直观的工具,移动终端的质量性能极大程度影响用户在移动通信过程中的直接感受,移动终端在产业链的地位显得至关重要。数据吞吐量指的是移动终端在单位时间内成功地传送数据的数量,一般以比特每秒为单位进行计量。移动终端的数据吞吐量性能直接影响用户通过手机进行信息交互的速度,所以数据吞吐量性能指标非常直接地影响用户在使用移动互联网业务时的感受和体验。因此,移动终端数据吞吐量的测试,在未来会显得越来越重要。

2 数据吞吐量测试目的

2G 移动通信技术时代,语音质量已经受到了广大用户的广泛认可。在运营商努力进行网络优化之后,“到处听说好”已经不仅仅是一句简单的口号。用户对 3G 移动通信技术和 4G 移动通信技术核心的期许还是在数据业务上。例如:2G 移动通信技术时代,用户的数据业务主要限于在线浏览网页;3G 移动通信技术时代,用户可以收发高清图片,在线听音乐;到了 4G 移动通信技术时代,用户可以在线看高清电影。

测试数据吞吐量的目的是对终端的数据吞吐量性能进行评价。2G 移动通信技术时代,一般仅测试用户的数据业务功能,比如能否打开网页,对于其数据吞吐量很少做出要求。数据吞吐量性能测试起源于 3G 移动通信技术时代,丰富和发展于 4G 移动通信技术时代。本文主要对 4G 移动通信终端的数据吞吐量测试进行阐述。

3 数据吞吐量测试内容

2013 年底,中国正式发放了 4G 移动通信技术牌照。4G 移动通信技术包括 TD-LTE 和 FDD-LTE 两种制式。其中,TD-LTE 是 3G 移动通信技术中 TD-SCDMA 制式的演进^[1-3]。考虑到移动终端数据吞吐量的重要性,4G 移动通信技术里采用了多输入多输出(MIMO)、载波聚合(CA)、自适应调制码等关键技术,提升移动终端的数据吞吐量性能^[4-7]。

对于一个 TD-LTE 智能终端,可以用 3 种方法对其数据吞吐量性能进行检测:仪表测试、室内网络下的测试、外场测试。

这 3 种方法都是测试移动通信终端在单位时间内成功地传送数据的数量,只是测试环境有所不同。仪表测试是使用仪表对纷繁复杂的网络环境进行仿真,验证终端在自定义网络环境下的数据性能;室内网络下的测试是在室内的网络设备下测试,并未连接商用网络;外场测试则是直接在运营商建设的商用网络下测试。

这 3 种测试方式各有其独到之处。仪表测试是通过仪表仿真,测试人员可以很容易地对信道环境进行仿真,建立各种各样的信道模型,测试场景最为全面、具体;室内网络测试使用真实的基站,在室内搭建一个覆盖主流设备厂商基站的环境,侧重于互联互通,确保终端在任何一家网络设备下都能正常工作,并且数据吞吐量都能达到正常水平;而外场测试是在运营商建设的商用网络下,对终端的数据吞吐量进行测试,最为贴近用户体验。一个终端只有通过了用这 3 种方法进行的数据吞吐量测试之后,其数据吞吐量性能才会有很好的保证。

3.1 仪表测试

因为仪表测试通过仪表仿真,所以测试人员可以很容易地对信道环境进行仿真,建立各种各样的信道模型^[8-10]。主要测试在理论条件下,终端的数据吞吐率是否接近于其理论水平。

仪表测试在目前国内外各大运营商的测试体系中,逐渐占据了一席之地。以中国移动通信集团公司为例,其在 TD-LTE 终端的入库测试体系中,有大量的数据吞吐量性能测试^[11]。数据吞吐量测试系统如图 1 所示。

各部分在测试系统中的作用见表 1。

仪表测试首先需要配置初始条件,如时隙、带宽、无线资源块、衰落等。

接着是测试流程,具体如下:

- 系统模拟器建立小区,信道仿真器进行信道仿真;
- 终端开机,在小区成功注册,无线承载建立成功;
- 系统模拟器分配给终端相关 IP 地址,开始进行数据传输;
- 根据测试例要求进行上行/下行/双向传输。

最后是结果判决,测试脚本对当前条件下的数据传输速率进行统计,并与测试员设定的门限进行对比,给出判决结果。

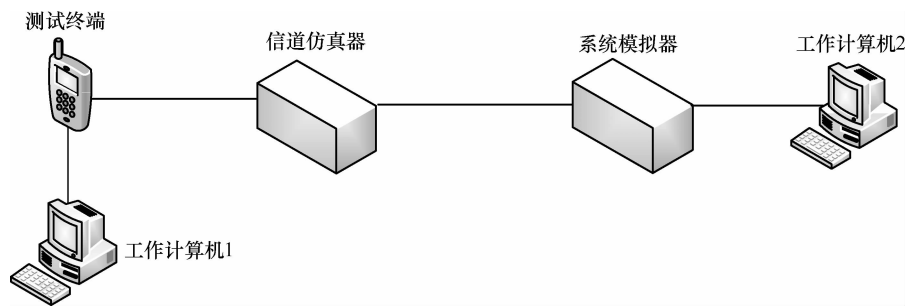


图 1 数据吞吐量仪表测试环境

表 1 测试工具及备注

测试工具名称	数量	备注
工作计算机	2 台	2 台工作计算机:工作计算机 1 与测试终端连接,用于控制测试终端;工作计算机 2 与系统模拟器连接,用于控制系统模拟器
系统模拟器	不少于 1 台	模拟通信网络的相关功能
信道仿真器	1 台	用于模拟空口的各种信道环境

以 TD-LTE 等级 3 (category 3) 的双天线终端为例,其下行理论速率可以采用如下方法估算。

如果初始的传输模式为 TM3(开环空间分集),系统带宽为 20 MHz,上下行时隙配比为 1:3,特殊子帧配置为 3:9:2,信道环境配置见表 2。

表 2 信道环境配置

传播条件	信噪比/dB	相关性
静态	30	无

在 TD-LTE 中,一个 10 ms 的无线帧有 10 个子帧,每个子帧 1 ms;TD-LTE 等级 3 的终端在一个子帧收到的下行共享信道(DL-SCH)传输块的最大比特数为 102 048 bit^[12];因此,每 10 ms 的一个无线帧,最多有 6 个子帧传送下行数据,故终端的理论最大传输速率为 102 048 bit×6/10 ms≈60 Mbit/s。判决门限一般是理论速率的 85%,即 51 Mbit/s。

笔者用多款移动终端(TD-LTE 等级 3 终端)进行多次测试,测试结果较为稳定,为 54.1~54.2 Mbit/s。用仪表测试环境测试较为方便,一天即可获得一款终端在不同传输模式下(如 TM1、TM2、TM3、TM8)、不同信噪比条件下(如信噪比为 30 dB、20 dB、10 dB、0 dB)、不同传播环境下(如静态、EPA5、EVA5、ETU70)的测试数据,并与判决门限进行比对。通过仪表环境的测试,能在比较短的测试周期内全面地对手机在各种场景下的数据吞吐量性能进行检测。测试结果也比较稳定,如果出现吞吐量不达标的问题,由于测试问题复现非常容易,可以选择再次测试,直接抓取测试日志来进行分析,定位问题非常方便。

3.2 室内网络测试

室内网络测试是在室内的网络设备下进行测试,测试所用的网络配置和商用网络基本一致,但此室内的网络设备并未连接在商用网络之上;室内网络下的测试也是对移动终端的上传和下载速率进行测试。

目前使用室内网络测试环境对数据吞吐量进行检测,一般会检测如下 3 个测试点:第一个测试点是测试移动终端仅进行下载业务时的数据吞吐量;第二个测试点是测试移动终端仅进行上传业务时的数据吞吐量;第三个测试点是测试移动终端同时进行上传和下载业务时的数据吞吐量。

室内网络下的测试系统如图 2 所示。



图 2 数据吞吐量室内网络测试环境

以测试第一个测试点为例,测试目的是验证终端能够承载终端所标称的终端分类中的最大速率分组数据下载业务。测试过程如下。

首先是测试条件的初始化。基站系统带宽设为 20 MHz,帧结构采用上行/下行时隙配比 1:3、常规长度循环前缀(CP);设置测试终端与工作计算机为共享连接。

接下来是测试流程,包括如下步骤:

- 测试终端开机,完成注册;
- 完成无线承载激活;
- 在工作计算机上发起数据业务;



- 使用流量统计软件在工作计算机上统计 5 min;
- 测试终端结束分组数据传输,计算下载平均速率。

最后是结果判决:预期结果是统计的下载平均速率应与终端能力等级相当。

在室内网络下的测试过程中,由于测试环境可控性较好,在当前小区只有被测终端接入,所以对终端的要求要超过理论速率的 90%。比如,当被测终端是等级 3 的终端时,理论速率为 60 Mbit/s,判决门限大于 54 Mbit/s。国内外运营商使用室内网络数据吞吐量测试也比较普遍。由于室内网络并不连接商用网络,所以这个网络环境是由测试员直接控制的:在初始条件下,当前小区除了测试终端外,测试员可以决定是否还有其他终端也在当前小区做业务;测试员可以决定网络的初始配置,以 TD-LTE 小区为例,测试员可以灵活对上/下行时隙配比、特殊时隙配置方式进行配置;测试员可以使用不同设备厂商的网络设备对终端进行检测,可以很方便地验证终端在各厂商设备下的数据吞吐量性能。笔者用多款移动终端(与仪表测试所用终端相同)进行多次测试,测试结果较为稳定,为 55.1~55.2 Mbit/s。用室内网络进行测试可以高效率地验证终端在不同家设备(如深圳华为技术有限公司、中兴通讯股份有限公司、大唐电信科技股份有限公司)下的数据吞吐量性能,并且测试员可以灵活地配置参数,测试结果可以复现。当然,由于每次更改参数都需要对真实的网络设备进行调试,其测试效率不如仪表测试。但这种测试方式能够全面地验证终端在不同的真实网络设备下是否表现正常,因此也是不可或缺的一种检测手段。

3.3 外场测试

外场测试最为贴近用户体验,是在运营商建设的商用网络下,对用户的数据下载、流媒体等业务进行吞吐量测试。外场测试数据吞吐量在世界范围内应用极其广泛,国内外运营商对于外场测试的结果高度重视。测试环境如图 3 所示。

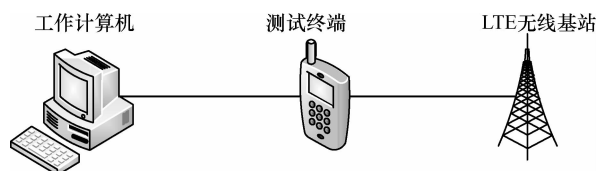


图 3 数据吞吐量外场测试环境

测试应当在 TD-LTE 无线信号覆盖情况好的地区进行。测试目的、测试流程基本与室内网络下的测试一致。但

由于商用网络下无线信道相对非常复杂,在商用网络下的数据吞吐量要求一般大于理论速率的 70%即可。

笔者用多款移动终端(与仪表测试所用终端相同)进行测试,选取 TD-LTE 无线信号覆盖情况非常好的地区,测试结果为 43~48 Mbit/s。可以看到,外场测试由于环境不受控制,同一款手机测试结果的波动范围也相对较大,定位问题相对困难。但无论如何,外场测试的环境和用户使用时移动终端时的环境是最为接近的,外场测试的结果和用户实际使用移动终端时的感受是最为相关的。所以,外场测试一直都是数据吞吐量测试中必不可少的一部分。

3.4 数据分析

对同一款终端用 3 种测试方法进行测试,测试条件和测试结果见表 3。

从表 3 可以看到,用仪表测试和室内网络测试,测试得出的 10 次结果是非常接近的,相差仅 0.1 Mbit/s;而外场测试由于环境的不可控,同一款手机测试结果的波动范围也相对较大,10 次测试中,最好的一次(47.2 Mbit/s)和最差的一次(40.2 Mbit/s)相差达到了 7 Mbit/s;对于为什么有一次速率仅为 40.2 Mbit/s,定位问题相对困难,因为下一次测试的时候,速率又上升到了 45.0 Mbit/s,无法复现该问题。

另外,如果使用仪表测试验证在其他测试条件下(如传播环境改为 EVA5,信噪比改为 0 dB)的数据吞吐量,那么测试人员只需要在设置中进行更改,仅需要 1 min 即可完成;而外场测试则需要开车去寻找相应的测试环境,相对来说非常麻烦。

4 数据吞吐量测试方法分析

从数据吞吐量测试的情况来看,3 种测试方法各有其利弊,见表 4。

仪表测试使用多家仪表厂商的仪表,对纷繁复杂的网络环境进行仿真,验证终端在各种网络环境下的数据性能。仪表测试的优点在于:第一是开发成本较低;第二是可以根据测试人员设计的测试方案,灵活配置各种网络环境;第三是测试条件可以重复并且容易控制,测试问题可以复现。所以仪表测试可以较快地帮助终端企业定位并解决问题,减少外场试验的需要,缩短执行重复测试的时间,降低在重复测试中出错的可能性,节约测试成本。所以,目前使用仪表进行数据吞吐量的性能测试是比较常见的,仪表测试所占的比重也在逐年增加。

表 3 测试条件和测试结果

	仪表测试	室内网络测试	外场测试
RS EPRE (小区参考信号每资源粒子的能量)	-85 dBm/15 kHz	-85 dBm/15 kHz	-85 dBm/15 kHz
传播环境	静态	静态	静态
信噪比/dB	30	30	30
系统带宽/ MHz	20	20	20
终端传输模式	TM3	TM3	TM3
终端 TD-LTE 等级	等级 3	等级 3	等级 3
终端上下行时隙配比	1:3	1:3	1:3
特殊时隙配置	3:9:2	3:9:2	3:9:2
理论速/(Mbit·s ⁻¹)	60	60	60
判决门限速率/(Mbit·s ⁻¹)	51	54	42
实际测试次数/次	10	10	10
实际测试数据/(Mbit·s ⁻¹)	54.2, 54.2, 54.1, 54.1, 54.1, 54.1, 54.1, 54.2, 54.1, 54.1	55.1, 55.2, 55.2, 55.2, 55.2, 55.2, 55.1, 55.1, 55.2, 55.2	45.4, 46.8, 47.2, 45.6, 44.7, 43.2, 40.2, 45.0, 46.9, 44.1

表 4 测试方法比较

	仪表测试	室内网络测试	外场测试
人力成本	非常低	一般	非常高
测试效率	非常高	一般	非常低
测试环境可控性	非常高	高	非常低
贴近用户体验	一般	比较高	非常高
问题复现	容易	容易	难
问题定位	容易	容易	难

室内网络下的测试在国内外运营商的互联互通测试中发挥了很重要的作用。运营商为了考察移动终端是否在所有设备厂商的网络下都能够互联互通,搭建了室内网络的测试环境。用室内网络设备对数据吞吐量进行检测,相对于外场测试来说测试环境可控;但是这种测试方式的问题在于:第一,网络设备购买、维护和升级的成本都非常高;第二,室内网络下的测试无法完全地模拟用户所处在的各种各样复杂多变的网络环境。所以,采用室内网络测试移动终端数据吞吐量,一般都作为一种辅助的手段。

由于外场测试最为贴近用户体验,国内外运营商在对终端评测时,外场测试的结果至关重要。另外,移动终端的外场测试对运营商自身的网络优化也有积极的意义,能够在测试过程中发现网络覆盖中的一些死角。所以在国内外厂商的测试体系中,外场测试一般都由运营商亲自把关。运营商一般会使用外场进行语音/数据呼叫成功率、语音/数据业务长时间保持、小区切换/重选等测试。但是如果仅

仅使用外场环境进行吞吐量测试,会有其很大的局限性。第一,进行外场测试,不应当影响到现有商业网络中的其他用户,所以网络环境是测试员无法控制的;第二,由于测试终端和其他商用终端共用同一个网络,网络环境比较复杂,终端在测试过程中出现过的问题不一定会复现,定位问题相对困难,无法帮助终端厂商迅速找到原因;第三,外场测试耗费极高的人力成本和时间成本。

可以预见,仪表测试由于其实现简单方便,成本较低,未来在运营商测试体系中的重要性也会越来越高;室内网络下的测试由于其环境可控的优势,在运营商测试体系中会一直发挥作用;外场测试由于最贴近用户体验,所以在终端测试过程中,牢牢占据着最重要的、不可动摇的地位。

5 结束语

数据吞吐量测试主要是对终端整机性能的考验,其测试过程受手机通信模块(特别是物理层^[13-16])、手机应用层的影响,测试问题较多,原因也较为复杂。为了让用户体会



到高速率、多业务的魅力,得到最优质的服务质量,移动终端制造商、运营商目前都对数据吞吐量测试极为关注。本文提到的3种测试方法,由于其各自独特的优势,会长期存在于数据吞吐量性能测试体系中。数据吞吐量性能测试在移动通信技术的发展过程中会长期发挥作用,为提升终端质量做出重要贡献。

参考文献

- 1 Peng M G, Wang W B, Chen H H. TD-SCDMA evolution. IEEE Vehicular Technology Magazine, 2010, 5(2): 28~41
- 2 Peng M G, Wang W B. Technologies and standards for TD-SCDMA evolutions to IMT-Advanced. IEEE Communications Magazine, 2009, 47(12): 50~58
- 3 Peng M G, Wang W B. A framework for investigating radio resource management algorithms in TD-SCDMA systems. IEEE Communications Magazine, 2005, 43(6): S12~S18
- 4 Hagerman B, Werner K, Yang J. MIMO performance at 700 MHz field trials of LTE with handheld UE. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, San Francisco, CA, USA, 2011
- 5 Werner K, Furuskog J, Riback M, *et al.* Antenna configurations for 4×4 MIMO in LTE-field measurements. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Taipei, China, 2010
- 6 Yasukawa S, Kawamura T, Kishiyama Y, *et al.* Field experiments on closed-loop SU-MIMO transmission considering effect of antenna configurations in LTE advanced uplink. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Yokohama, Japan, 2012
- 7 Miyazaki N, Nanba S, Konishi S. MIMO-OFDM throughput performances on MIMO antenna configurations using LTE-based testbed with 100 MHz bandwidth. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Ottawa, Canada, 2010
- 8 Catreux S, Driessen P F, Greenstein L J. Data throughputs using multiple-input multiple-output (MIMO) techniques in a noise-limited cellular environment. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2002, 1(2): 226~235
- 9 Szini I, Pedersen G, Tatomirescu A, *et al.* MIMO 2×2 absolute data throughput concept. Proceedings of the 6th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), Prague, Czech, 2012
- 10 Szini I, Pedersen G F, Del Barrio S C, *et al.* LTE radiated data throughput measurements, adopting MIMO 2×2 reference antennas. Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference, Yokohama, Japan, 2012
- 11 李昱璇,孔露婷,李丽芳等.中国移动TD-LTE终端测试规范——通信功能和性能分册,2013
Li Y X, Kong L T, Li L F, *et al.* China Mobile TD-LTE Terminal Specification——Communication Function and Performance, 2013
- 12 3GPP TS 36.306. Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Access Capabilities, January 2015
- 13 Abbas F. Multiple modulation and coding scheme to enhance the downlink data throughput. Proceedings of the 17th International Conference on Microelectronics, Islamabad, Pakistan, 2005
- 14 3GPP TS 36.211. Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channel Sand Modulation, March 2011
- 15 3GPP TS 36.212. Technical Specification Group Radio Access Network, Multiplexing and Channel Coding, March 2011
- 16 3GPP TS 36.213. Technical Specification Group Radio Access Network, Physical Layer Procedures, March 2011

[作者简介]



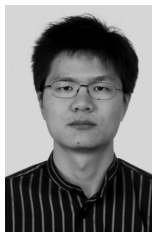
康亮,男,中国信息通信研究院泰尔终端实验室工程师,主要研究方向为TD-SCDMA/LTE移动通信终端一致性测试技术、互操作测试技术、数据吞吐量性能测试技术等。



宋连波,男,中国信息通信研究院泰尔规划研究所工程师、高级项目经理,主要研究方向为无线通信领域的多网协同规划、3G/LTE网络发展演进、无线网络测评等。



孙龙,男,中国信息通信研究院泰尔终端实验室工程师,主要研究方向为移动智能终端信息安全、应用软件安全等。



朵灏,男,中国信息通信研究院泰尔终端实验室高级工程师,长期从事移动通信技术研究,先后承担了TD-SCDMA、WCDMA和LTE等制式终端测试方法国际、国内标准化工作。