

基于 Android 平台的 3G 移动网络测量研究及性能分析

张成伟 程文青 黑晓军

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘 要 旨在利用移动智能终端研究国内主流 3G 移动网络的时延性能及用户体验度,提出了端到端的 3G 移动互联网主动测量方法,设计和实现了适用于 Android 移动终端的网络测量工具,并针对国内 3 种 3G 网络进行了实际网络时延测量实验,分析了 Android 移动终端访问主流 Web 网站的时延测量数据。测量结果和数据分析表明,在静态测量和动态测量中,中国电信 CDMA2000 表现出最好的网络性能,中国联通 WCDMA 次之,而中国移动的 TD-SCDMA 则表现出最差的网络性能。研究结果不仅证明了通过移动智能终端进行网络性能评测是可行的,而且可为移动终端用户实现更好的用户体验及网络性能优化提供可行的测量方法和数据支撑。

关键词 移动互联网,网络测量,Android,网络时延,性能评估

中图分类号 TP302.7 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.2.005

Measurement Study of 3G Mobile Networks Using Android Platform

ZHANG Cheng-wei CHENG Wen-qing HEI Xiao-jun

(Department of Electronics and Information Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract With the proliferation of mobile online-social applications, there has been an increasing growth for accessing the Internet using mobile devices. 3G mobile networks provide a convenient approach for users to access the Internet any-time and anywhere. Nevertheless, the performance of 3G networks may significantly impact user's quality-of-experience (QoE). This paper conducted an end-to-end active measurement study of the 3G mobile Internet in China. Due to the largest market share of the Android operation systems, we designed and implemented a wireless network measurement tool in Android, and then performed an evaluation study of three major 3G networks in China using the proposed measurement tool. Our measurement study focused on the delay measurements to popular websites accessed by smart phones. Finally, based on the collected measurement data, we discussed network performance of three different 3G networks in China. Our results show that China Telecom CDMA2000 has the best performance in network delay and delay jitter. This study may provide a feasible measurement approach and data support to achieve better QoE for end users and optimize the mobile wireless network performance.

Keywords Mobile network, Network measurement, Android, Network latency, Performance evaluation

1 引言

当今社会,移动终端设备(如手机)已经成为人们日常生活中必不可少的一部分。随着网络社交化和移动应用的增长,新一代的智能移动终端通过 WiFi 或者 3G 网络接入互联网的数量呈急剧增长趋势。中国互联网络信息中心(CCNIC)最新的互联网统计报告显示,中国网民数量已经达到了 5.91 亿,网络普及率为 44.1%;而使用移动终端的网民数量已经达到了 4.2 亿,占中国网民数量的近 80%,手机作为移动终端的代表,已经成为国内首选的上网工具^[1]。

国内无线移动运营商已经全方位从 2G 时代过渡到 3G 时代,3G 网络环境日益成熟,由中国移动、中国电信、中国联通 3 家公司主导运营的 3G 网络已经取得了良好的发展。由

于这 3 家公司采用了不同的 3G 网络制式:TD-SCDMA、CDMA2000 和 WCDMA,因此其在提供网络接入的性能上存在差异。稳定且高效的 3G 网络为个人和公司提供了可靠便利的连接沟通渠道,已经成为一种必然趋势^[2]。然而,在国内 3G 移动网络加速普及的时代,除了网络运营商的数据报告,鲜有第三方对 3G 无线网络性能进行测量研究。因此,设计基于移动终端的测量软件及部署适合的测量实验,对评测 3G 无线网络的性能以及对优化网络的设计和部署有着一定的借鉴意义和实用价值。

国外学者通过移动设备对 3G 移动网络进行测量,研究主要集中在对网络的传输时延、网络带宽、移动特性等网络性能进行测量和分析^[3]。Tan 等研究者利用手机和笔记本终端对香港的两类 3G 无线网络进行了测量和分析,主要关注无

到稿日期:2014-03-28 返修日期:2014-06-17 本文受国家自然科学基金(61370231),国家科技支撑计划(2011BAK08B01),华中科技大学自主创新基金(HUST:2013TSl14)资助。

张成伟(1979-),男,博士生,讲师,主要研究方向为覆盖网络路由及优化、网络测量,E-mail:zhangcw@hust.edu.cn;程文青(1964-),女,教授,博士生导师,主要研究方向为高速通信网络、教育信息化标准等;黑晓军(1976-),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为网络测量。

线网络容量和传输性能^[4]。Huang 等研究者则对国外 4G 网络进行了测量,在该测量中,研究者开发了基于 Android 智能手机的测量工具 4GTest 来对无线网络的性能和网络能耗进行测量和分析^[5]。由于蜂窝移动网络的地域性特点,而通过智能移动终端对国内 3G 移动网络的测量和分析的研究极少,本文提出和设计了基于 Android 的无线网络测量工具,并对测量结果进行了比较和分析,为蜂窝移动网络的测量方法提出了一种可行的研究性方法。

1.1 国内外无线移动测量技术方法介绍

由于蜂窝移动网络的随时随地接入的便利性和覆盖性,能够满足智能移动终端的用户碎片化的网络接入需求,因此蜂窝移动网络性能成为衡量用户服务质量和用户体验度的重要参考^[6]。通过智能移动终端测量获得的无线网络性能数据,能够为其提供第一手用户级离散网络性能数据,为网络性能优化提供可靠的数据支撑。目前在无线移动网络测量领域内,主要还是以国外的研究为主,主要的研究方法有以下几类。

1.1.1 基于固定探测点的静态测量方法

基于固定探测点的无线网络测量方法^[4,6]主要利用计算机借助于 3G 无线网卡或者移动终端等作为接入设备,通过 3G 无线网络接入互联网。计算机成为网络测量的终端节点,该方法的优点是计算机操作系统提供了完备的测量工具,如 ping, tracert, packetfilder 等,因此研究人员可以对网络进行较为完备的测量工作;但是该方法的缺点是无法体现 3G 网络随时随地接入的便利性,也无法对 3G 网络移动性能进行进一步的测量和分析,为了进行较大规模的测量,需要在不同的地区部署,后期数据的搜集、处理和分析较为复杂。

1.1.2 基于移动终端的动态测量方法

基于移动终端的动态测量方法^[7]主要利用智能移动终端作为网络测量的终端节点,可以直接对 3G 移动网络进行测量和数据搜集,并且可以在智能移动终端平台上进行编程,完成一些复杂的测量工作。该方法的优点是能够很好地测量由终端节点移动所带来的对网络性能的影响,并且能够在终端节点进行数据筛选;缺点是需要对终端节点进行进一步的软件设计和数据处理,并且受电池供电的影响,终端节点的测量持续时间较短,数据搜集量有限。

1.1.3 大规模移动终端动态测量方法

大规模移动终端动态测量方法^[5]综合了以上两种测量方法,如图 1 所示。在该测量方法下,研究者不需要主动部署移动终端和测量节点,而是通过在线商店为移动终端用户提供测量软件下载和安装,这样研究者就能够从用户端搜集大量的测量数据,并且这些终端用户作为测量节点,其行为和移动随机性更强,更能够真实反映终端用户的网络状态。研究者需要在网络中部署测试服务器和数据搜集服务器,用来搜集和整理各终端用户上传的数据。

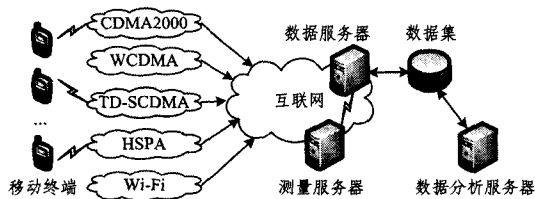


图 1 大规模移动终端动态测量方法示例

本文接下来分析并设计了基于 Android 平台的无线移动网络测量工具,部署了相应的无线网络测量平台,提出了测量国内 3G 移动网络性能的实验方案,对利用不同 3G 移动网络访问 Web 网站的时延数据进行了搜集和分析,并给出了相应的结果讨论,为监测终端用户的网络性能和用户体验提供了可行的测量方案 and 数据分析支撑。

2 基于 Android 平台的网络测量工具分析与设计

智能移动终端的主要特点是其对用户具有一定程度的控制开放性和编程开放性,这种开放性集中体现在操作系统允许用户自行安装兼容系统的应用软件,或者编写基于系统的用户定制软件。目前主流的移动操作系统有 Android, iOS, BlackBerry, Windows Phone 等,其中 Android 占有移动终端市场近 70% 的份额,超越 iOS,成为全球第一的移动操作系统^[8],因此设计基于 Android 平台的网络测量工具能够更好地寻找到合适的终端节点,并且满足大规模移动终端测量的需求。

2.1 网络测量工具的功能分析

3G 无线网络测量工具要求能够在测量的终端节点直接获得网络测量的数据,并且该工具能够适用于当前绝大多数的移动操作系统,因此我们选择基于 Android 平台设计开发的无线网络测量工具。

评估网络性能参数指标有很多,如吞吐量、上传/下载带宽、网络速度、丢包率等,其中最能够体现网络链路质量的基本网络参数是网络时延和网络丢包率。本文以测量网络时延为基础,实现 Ping 协议,并且为用户提供了对多个网站进行时延测量的操作界面。为了支持移动终端的移动测量,保证用户在移动过程中能够对所测量的网站或者地址进行周期性的测量,该工具提供了定时测量任务,用户通过界面定制测量周期,从而实现自动测量。该工具在运行过程中可自动将测量的结果以 JSON 格式保存在本地,完成测量实验之后,连接数据服务器,上传测量数据,在服务器端进行数据搜集和分析,从而实现随机移动终端的动态测量。

2.2 网络测量工具的软件设计

根据 2.1 节的功能分析,基于 Android 平台的网络测量工具软件框架如图 2 所示,可以分为 4 个主要部分:用户界面、任务配置与调度、测量工具集合以及测量结果抽取与存储。

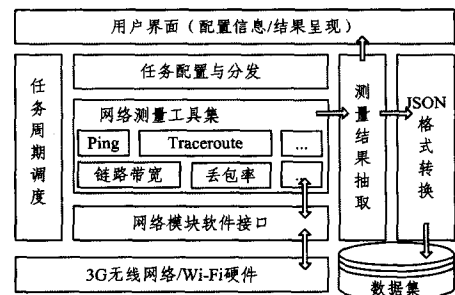


图 2 无线网络测量工具软件框架图

该用户界面主要为用户提供友好的操作界面和测量结果展示界面,在设计上适用于移动终端的触摸操作方式。为了保证用户的实验方案能够正确执行,软件提供了测量任务配置与分发模块,该模块能够将用户界面搜集来的测量任务进

行解析并且转化为相应的测量任务分发给测量工具集。在软件设计中,为了测量扩展性的需要,该软件将网络测量功能进行了分解,并且将多个测量小功能和模块进行了封装,从而成为独立的测量工具集。测量任务会调用测量工具集中的测量模块对网络进行测量,并将测量结果反馈给测量结果抽取模块,该模块会对结果进行精炼,删除测量中的一些多余信息和冗余数据,一方面将结果返回给用户界面进行回显,另一方面将抽取的数据交由 JSON 数据转换模块进行 JSON 标准数据格式转换,转换完成后会存储在本地,数据累计到一定程度后,会通过网络传送到数据服务器进行数据汇总。

3 3G 移动网络测量实验与结果分析

本节主要介绍利用基于 Android 的网络测量工具对国内 3G 网络进行时延测量的实验设计和结果分析。实验选取的移动终端为当前主流的智能手机型,并且由于国内有 3 家不同的 3G 网络提供商,因此选择了 3 种能够代表主流应用的智能手机作为测量节点,分别为华为 C8815(CDMA2000)、联想 A830(WCDMA)和中兴 U956(TD-SCDMA)。

表 1 3 种不同制式手机主要技术参数

	C8815	A830	U956
Network	CDMA2000	WCDMA	TD-SCDMA
CPU	Qualcomm 8625Q	MTK MT6589	NVIDIA TEGRA 3
CPU Number	4	4	4+1
CPU Speed	1.2GHz	1.2GHz	1.5GHz
RAM	1G	1G	1G
OS	Android 4.1	Android 4.2	Android 4.0

测量实验主要是收集 3 种不同制式的手机在相同的条件下(如同一地点、同一时刻)分别运行网络测量工具对选定的 Web 站点定期发出 Ping 包,搜集往返时延数据来分析国内 3G 网络在网络时延上的性能指标,并进行数据分析。

3.1 3G 无线网络测量实验设计

3G 移动网络测量实验选择在相同的测量环境下,进行静止测量和移动测量。静止测量是指选择人群相对密集的地点,在有限的范围内利用测量节点进行测量,测量结果与测试者的行为无关;移动测量则考虑测量节点在运动过程中完成一段时间的持续测量,该测量主要研究:就测量节点在移动条件下和随机行为下是否会对 3G 网络的网络性能产生一定的影响进行数据测量和结果讨论。在测量实验中,为了进行数据比较,测量实验也对校园 Wi-Fi 网络进行了测量,并将其作为实验数据比较的基准,由于 Wi-Fi 网络范围有限,因此是在静止的条件下完成测量的。

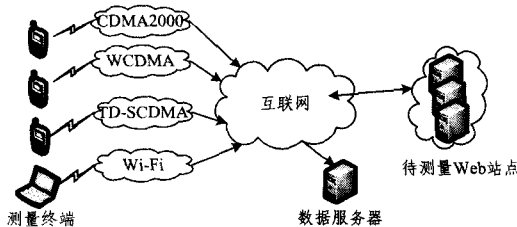


图 3 基于 Android 无线测量实验方法示意图

如图 3 所示,实验选择了 3 种不同制式的 3G 智能手机作为测量终端和测量节点,为了实验数据的参数,同时也选择了校园 Wi-Fi 网络作为测量对象,利用相同的智能手机进行无

线网络接入测量。测量实验主要选择当前网络用户经常访问的 Web 网站作为测量对象,其中服务器位于国内的网站主要有:百度(baidu.com)、淘宝网(taobao.com)和腾讯网(qq.com);国外的网站选取了谷歌(google.com)和雅虎网(yahoo.com)作为测量网站。测量过程中,测量终端会定期对测量网站进行探测,测量区间从 1 小时到 24 小时不等,每次测量中包括一定数量 ping 包,测量完成后会记录每次 Ping 的往返实验值,并且将最大时延、最小时延以及平均时延结果保存在测量终端。在网络条件允许的情况下,测量终端可以将测量结果发送给数据服务器进行存储。

3.2 3G 无线网络测量结果分析

3G 无线网络测量实验主要分为 3 个部分,第一部分为短时间内网络时延首先对 3 种 3G 网络和免费校园 Wi-Fi 网络进行网络时延的测量;第二部分为在较长的时间段内利用 3G 无线网络对百度和谷歌进行持续测量;第三部分利用终端的移动性,以一定的速率在校园的主干道上进行移动测量,获取网络在终端移动时的动态时延性能。本节最后对测量数据进行分析 and 总结,同时对无线网络动态测量方法进行了分析和讨论。

3.2.1 小时间尺度网络时延性能测量结果

实验首先对 3 种 3G 网络和免费 Wi-Fi 网络进行了网络时延的测量,选择了 5 个知名的国内外 Web 网站进行 Ping 数据包的测量。测量实验选择在相同的环境下同时进行测量,进行了 40 组的实验,每组测量实验的间隔周期为 5 分钟,总共测量时间约为 4 个小时。为了更好地分析测量数据,我们对测量结果进行了排序,图 4 给出了最终排序后的测量结果。从结果我们可以看到,在相同的条件下访问相同的 Web 网站,中国电信的 CDMA2000 网络具有最低网络时延,与作为参考比较的校园 Wi-Fi 的网络时延相当,其次为中国联通 WCDMA,而中国移动 TD-SCDMA 网络时延最大。

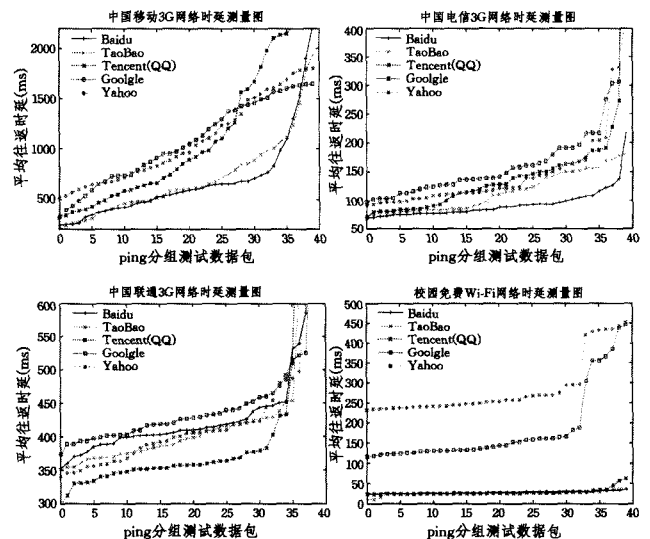


图 4 3G 无线网络时延对比图

如图 5 所示,在访问国内网站时,校园 Wi-Fi 具有最低的网络时延,但是在访问国外网站时时延明显变大,甚至超过了中国电信访问相同网络的时延,原因可能是由于 CERNET 出口带宽有限,限制了国外出口的网络性能;相比于 CERNET, 3G 无线网络则没有限制,无论是使用何种 3G 无线网络访问

国外网站,访问时延与国内网站访问时延并没有数量级的差别,仍然是中国电信 CDMA2000 具有最低的平均时延,中国联通 WCDMA 次之,中国移动 TD-SCDMA 最后。

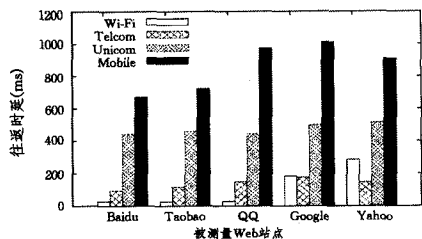


图 5 3G 无线网络时延平均时延对比图

如图 8 所示,对测量的数据进行统计平均后,中国移动 CDMA2000 的平均时延最低,最大的网络时延也不超过 400ms。中国联通 WCDMA 具有最大的平均网络时延,并且该网络下最大网络时延值接近 900ms,最小网络时延值约为 150ms,该网络下的网络时延抖动相对于另外两种网络较高。中国移动 TD-SCDMA 网络时延测量统计性能介于这两种网络之间。值得注意的是,中国移动的 3G 网络是唯一在此次网络测试中访问国外网站谷歌的时延小于访问国内网站百度的时延的无线移动网络。

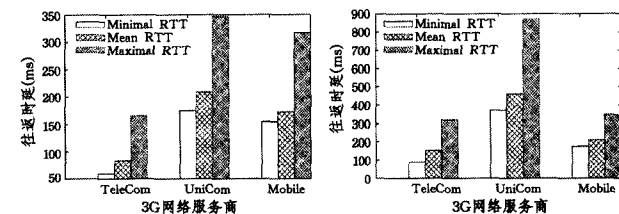


图 8 百度和谷歌网络访问平均时延对比图

3.2.2 大时间尺度网络时延性能测量结果

以上实验在小时间尺度上完成测量,受外界环境如网络信号、用户密集程度等因素干扰较大,即使选择在相同的地点和相同时间测量,也会因测量不同的网络状况而体现出与实际网络不同的性能。为了进一步获得准确的测量结果,我们进一步设计了测量实验,在较长时间范围内选取了百度和谷歌这两个国内外知名搜索引擎进行了进一步测量和分析。之所以选择这两个网站,主要原因是搜索引擎不同于一般的 Web 网站,用户在访问这类网站时,期望有更短的访问时延和更快的相应速度,以达到更好的用户体验。

如图 6 所示,在持续较长的时间段内,3G 网络在访问 Web 网站时均表现出相对稳定的网络时延,并且访问国内的百度站点比国外的谷歌平均网络时延要低 20% 以上。图中反映出中国联通 WCDMA 的时延抖动最为剧烈,其次为中国移动 TD-SCDMA,而中国电信 CDMA2000 最为稳定。如图 7 所示,对所测量的时延数据排序后,可以很明显的看到,中国电信 CDMA2000 无论在访问百度还是谷歌,都有良好的网络表现。而中国移动 TD-SCDMA 在访问百度时网络时延和中国联通 WCDMA 相近,略低于 WCDMA;而在访问谷歌时网络时延与中国电信 CDMA2000 相近,略高于该网络。而中国联通 WCDMA 在上时间段的测量中具有最高的网络时延和抖动。

3.2.3 移动网络动态时延测量结果

上述实验主要完成的是静止测量,主要是利用移动终端设备在小范围对不同的 3G 移动网络的静态时延特性进行了测量,通过结果数据的对比和分析,中国电信的静态时延特性相对于其他两种 3G 移动网络有着较好的效果。为了分析 3G 网络的动态时延性能,本文利用智能终端的移动特性,对 3G 网络在终端移动状态下的动态时延性能进行了测量和分析。动态时延测量实验在匀速移动状态和快速移动状态两种条件下开展测量工作。匀速状态下的时延性能测量:选择了校内的一条主干道,以相对稳定的运动速率同时对 3G 网络的动态时延数据进行搜集;快速移动状态的时延性能测量:选择了城市一条车流量相对较小的公路,实验人员驾车在公路上进行正常行驶,时速不超过 80 公里/小时,在相对高速的状态对 3G 网络进行了测量。

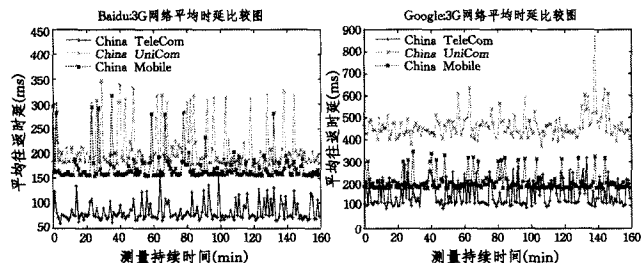


图 6 百度和谷歌网络访问时延对比图

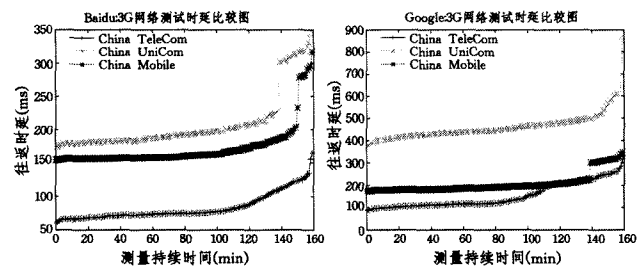


图 7 百度和谷歌网络访问时延排序对比图

图 9 分别给出了在静止测量和匀速移动测量两种方式下,使用 3 种不同的移动终端与测量服务器的时延数据。为了保证数据的准确性和稳定性,我们在每个测量点都进行了 10 组测量,取其平均值作为当前测量位置的时延平均值,由于基于位置的测量值抖动较大,图中对结果数据进行排序,以便更好地观测和分析测量结果。

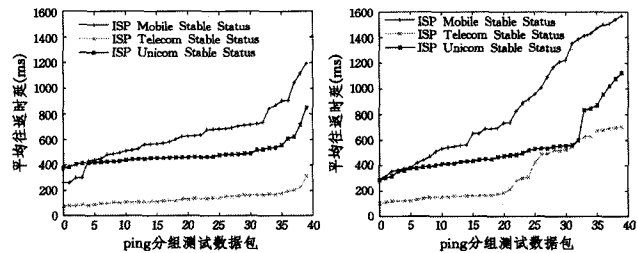


图 9 3G 移动网络静态/匀速运动时延性能对比图

通过图 9 的数据对比,可以观测到无论是静止测量还是移动测量,中国电信的 3G 网络都能够获得最小的时延,但是该网络下移动状态的时延数据抖动加大,有近 50% 测量数据结果超出了静止测量结果的两倍;中国联通的 3G 网络 WCD-

MA 的测量结果居中,动态测量的结果与静止测量结果相当,整个数据集也相对平滑,在时延的平滑性上是最佳的;而中国移动的静止测量和移动测量数据结果最差,与测量服务器间有着最大的网络时延,并且移动测量的时延数据抖动最大,在所测试的 3G 网络中时延性能最差。

为了进一步验证该网络测量工具的普适性,本文设计了移动终端在快速移动状态下的时延测量实验,实验人员驾驶汽车搭载移动终端进行测量,测量方式与低速测量方式相同。如图 10 所示,测量数据给出了通过移动终端测量百度站点以及测量服务器的时延数据,结果显示中国电信 CDMA2000 网络在快速移动过程中时延测量值相对于测量站点最小,时延抖动相对较大;中国联通 WCDMA 在快速动态测量中时延值较大,但是稳定性较强,时延抖动最小,具有最好的用户体验;而中国移动 TD-SCDMA 在该测量实验中时延均值与中国联通 WCDMA 相当,但是时延抖动最大,时延最大值超过 400ms,用户体验度最低,在进行测量实验时也是相应最慢的移动网络。

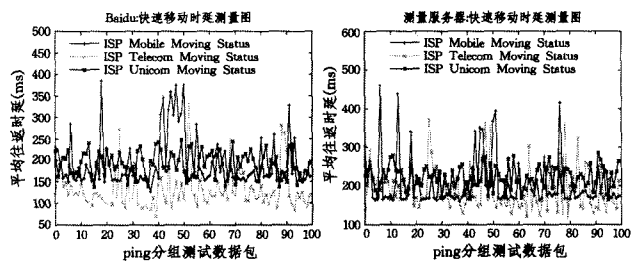


图 10 3G 移动网络高速运动时延性能对比图

3.2.4 测量结果分析与结论

综合以上的测量分析结果,在利用基于 Android 平台无线网络测量工具对国内 3G 网络进行基础测量后,统计分析结果表明,静态测量和移动测量中,中国电信 CDMA2000 在访问 Web 站点和测量服务器时具有最小的网络时延和网络抖动;中国联通 WCDMA 仅次于 CDMA2000,具有较好的网络时延;而中国移动 TD-SCDMA 则居于最后,具有最长的平均网络时延及网络抖动。在移动测量中,虽然中国联通 WCDMA 的时延均值居于中国电信 CDMA2000 之后,但是其网络的动态时延特性的平滑性却居首,时延抖动最小,因此用户体验度高;而中国电信 TD-SCDMA 在移动测量中也出现时延抖动过大、个别时延值偏高的现象,但是由于总体时延均值较低,因此用户体验较好;中国移动 TD-SCDMA 在移动测量中时延均值偏大,时延抖动最大,用户体验度最低。作者在分析中国移动的 3G 网络时延数据时发现,当 3G 移动网络不可用时,移动 3G 网络会自动切换为速度较低的 EVDO、EDGE、甚至 GPRS 数据传输模式来保证数据连接性,但是在此过程中,网络时延则大大增加,该切换是中国移动 3G 网络体验度较低的主要原因。

网络测量数据实验和分析是需要研究者坚持不懈地长期

进行实验、观测和总结才能获得的。本文旨在提出一种可行的基于 Android 平台的无线网络测量工具,并且借助于该网络测量工具,介绍了具有可操作性的无线网络测量方法。利用该测量工具和测量方法,我们设计了多个 3G 无线网络的测量实验,对国内 3 种主流 3G 无线网络在访问互联网所产生的网络时延进行测量和数据搜集,并且根据统计结果给出了相应的数据分析及测量结论。

结束语 本文设计的无线移动网络测量方法不仅适用于当前 3G 移动网络,同样也适用于即将在国内普及的 4G 网络;本文提出的移动网络测量工具经过适当的裁剪和功能增强也能够 4G 类型的移动终端上部署,以对无线移动网络测量方法和网络性能进行研究,旨在为移动互联网提供更好的用户体验,为网络性能优化提供可行性评测方法。

参考文献

- [1] 中国互联网络信息中心. 第 32 次中国互联网络发展状况统计报告[OL]. [2013-07-18]. <http://www.cnnic.net.cn/>
- [2] Elmokashfi A, Kvalbein A, Jie Xiang, et al. Characterizing Delays in Norwegian 3G Networks[C]// Proc. of the 13th Int'l Conf. on Passive and Active Measurement (PAM 2012). Vienna, Austria; LNCS, vol. 7192, 2012; 136-146
- [3] Liu Xin, Sridharan A, Machiraju S, et al. Experiences in a 3G network: interplay between the wireless channel and applications [C]// Proc. of the 14th ACM Int'l Conf. on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2008). New York, NY, USA; ACM Press, 2008; 211-222
- [4] Tan W L, Lam F, Lau W C. An empirical Study on the Capacity and Performance of 3G Networks[J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 19(6): 737-750
- [5] Huang Jun-xian, Qian Feng, Gerber A, et al. A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks[C]// Proc. of the 10th Int'l Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys 2012). Low Wood Bay, Lake District, United Kingdom; IEEE Computer Society, 2012; 225-238
- [6] Tso F P, Teng J, Jia W, et al. Mobility: a Double-edged Sword for HSPA Networks; a Large-scale Test on Hong Kong Mobile HSPA Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2012, 23(10): 1895-1907
- [7] Chen Xian, Jin R, Suh K, et al. Network Performance of Smart Mobile Handhelds in a University Campus Wi-Fi Network[C]// Proc. of the 12th ACM SIGCOMM Conf. on Internet Measurement (IMC 2012). Boston, MA, USA; ACM Press, 2012; 315-328
- [8] International Data Corporation. All Smartphone Operating System Shipments in the First Quarter [OL]. 2013-05-16. <http://www.idc.com/>