



基于 3G 背景流量整形的节能方法

章坚武, 袁 杰

(杭州电子科技大学通信工程学院 杭州 310018)

摘 要:在移动设备应用程序快速发展的大背景下,众多应用程序在后台的数据传输对移动设备造成很大负担,大幅度减少了电池的有效使用时间。为了降低应用程序造成的设备能量损耗,提出了一种基于信道转换定时器、缓冲阈值等一系列静态网络参数的流量整形节能算法。仿真结果表明,新算法可以降低 32%~63% 的设备功率损耗。

关键词:传输能量;3G;流量整形;节能算法

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.12.012

Energy-Efficient Approach Based on 3G Background Traffic Shaping

Zhang Jianwu, Yuan Jie

(College of Telecommunication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: With the development of mobile applications, the massive background data transfers may seriously burden the user equipment and reduce the lifetime of battery. In order to reduce the energy consumption of this background traffic, a new energy-efficient approach based on traffic shaping, that uses some static network parameters such as inactivity timer, buffer threshold, was proposed. The simulation results show that the approach can save 32% to 63% of the total energy consumption.

Key words: translation energy, 3G, traffic shaping, energy-efficient approach

1 引言

得益于无线通信技术以及强大的设备,移动用户能够通过数据流量随时随地传送或获取信息,但是移动设备电池使用周期短、耗电快,且随着移动数据流量的激增,这个缺点将更加明显。有数据显示,现在 Android 智能手机的电池使用时间通常不到 1 天。

虽然技术的发展会带来更高效的硬件配置,使电池能够持续工作更长时间,但是手机中众多应用程序的数据传输大大增加了电池能耗。Balasubramanian N 等人对 3G 网络环境下,移动设备数据传输能耗所呈现出的特性进行了

定量研究后发现,设备产生的能耗并不完全取决于数据传输量,网络特性也至关重要。如在 3G 网络环境下,设备间歇性传输几百字节数据产生的能耗可能会高于一次性传输 1 MB 数据的能耗。因为在一次典型的数据传输之后,用户设备保持在高能耗状态时会浪费近 60% 的能量,相比之下,用户设备因数据传输而切换到高能耗状态产生的功耗比较小^[1]。研究指出,用户终端的功耗轨迹不仅受传输数据流量的影响,还受静态网络参数和设备接收信号强度的影响^[2]。值得注意的是,无线资源控制(RRC)协议对传输数据流量产生的能耗有很大影响。

现有的节能算法主要有 TailEnd^[1]、CLBB 等。TailEnd

算法是在用户指定的传输时延内,在线聚合数据流量,并将其一次性传送,从而减少设备状态的切换次数和设备功耗。该算法主要用于一些可容忍数据传输时延的应用,且对允许较大数据传输时延和传输较大数据流量的应用比较高效。此外,还有其他基于 TailEnd 的算法:Könönen^[3]等人提出了用不同定时器队列完成一次性同步传输的方法;TailTheft^[4]在 TailEnd 基础上使用了快速休眠(FD)^[5],允许用户设备发信号给无线网络控制器(RNC)释放连接,使用户设备提早进入低功耗状态。CLBB^[6]算法在保证用户设备尽可能处于 PCH(paging channel,寻呼信道)状态的同时,使一些小数据流量通过 FACH(forward access channel,前向接入信道)传输,从而避免用户设备进入能耗更高的 DCH(dedicated channel,专用信道)状态。

本文算法对 CLBB 进行了改进,并增加了快速休眠。首先,通过静态定时器和数据缓冲阈值等隐藏的网络参数,对数据流量进行整形,降低设备功耗;然后,对本文算法进行了实现和测试,验证了其正确性;最后,仿真了本文算法对随机数据流量路径的影响,得到了不同传输时延限制下的设备功耗和节省能耗。

2 影响用户设备功耗的主要因素

RRC 协议和网络覆盖范围是影响 3G 用户设备功耗的主要因素^[1]。

2.1 RRC 协议

RNC 通过 RRC 协议和无线连接控制(RLC)协议^[7]完成用户设备的无线资源管理。RRC 协议为设备的数据传输分配信道。用户设备状态分为 DCH、FACH 和 PCH。当设备处于 DCH 时,可以保证很高的性能和很低的上下行链路传输时延;当处于 FACH 时,用户设备会持续监测下行链路,并为上行链路分配限制了数据传输量的传输信道,DCH 和 FACH 是仅有的两个能够传输数据的信道;当处于 PCH 时,设备会随时警惕到来的数据,从而保证用户设备能够快速切换到更高的状态。每个信道的性能和功耗不同,用户处于不同状态时的功耗^[8]如图 1 所示。

设备不同状态之间的切换取决于数据传输量和静态定时器。RNC 将固定的 RLC 缓存数据阈值作为设备切换到更高状态(PCH-DCH 和 FACH-DCH)的标志。上行链路由两个阈值控制着不同状态之间的切换,当数据超过给定阈值时,将产生一次状态切换。静态定时器 T_1 和 T_2 是用户设备向下切换到低性能状态的指标, T_1 控制着 DCH-FACH

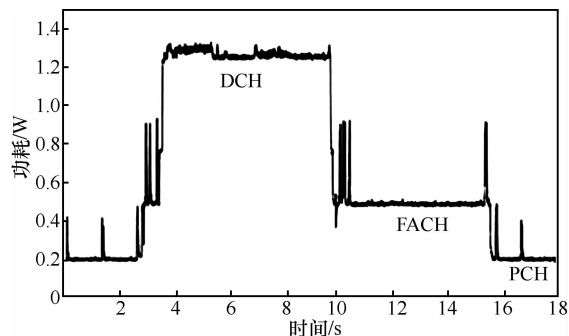


图 1 不同状态的功耗

的切换, T_2 控制着 FACH-PCH 的切换。当信道中没有数据传输的时间超过静态定时器时,设备将会进行状态切换。用户设备不同状态之间的切换如图 2 所示。

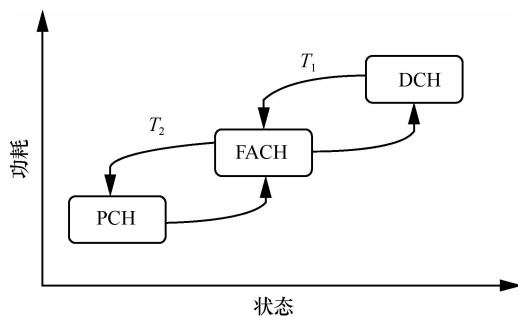


图 2 不同状态之间的切换

2.2 网络覆盖范围

在不同的网络覆盖下,用户设备的接收信号强度(RSS)不同。用户设备可通过调整数据速率,补偿不同的信道条件,设备的无线功率放大器也会通过调整信号增益,补偿接收信号强度,减少错误传输。当无线链接质量较低时,用户设备将受高功耗和低数据传输速率的影响,消耗更多的能量^[2]。

3 应用程序背景流量的能耗控制

3G 标准的服务质量中对背景流量进行了阐述。背景流量是数据通信时的一种流量类型,具有低带宽需求、间歇性和不对称性的数据传输、可允许时延的特点,被归为灵活的和尽力而为^[8]的服务类型。

即使用户没有操作移动设备,应用程序也会产生背景流量。虽然背景流量传输数据量不大,但是这些尽力而为的流量对 3G 的功率轨迹也产生了重大影响。背景流量是对实时性要求最低的流量类型,因此它被考虑用在本文的节能算法上。

应用程序本身无法区分不同类型的流量,因此将背景



流量从实际流量中分离出来就显得十分复杂。通常做法是基于真实流量数据^[9],使用 Wireshark 等流量采集工具,建立背景流量模型,并进行一系列的过程分析。

3.1 流量整形

本文提出的算法使用 RLC 缓存阈值作为界限,将数据分组按照大小分成两个队列,一个队列存储较大的数据分组,另一个存储较小的数据分组。为了简化算法,假设每个数据分组具有相同的最大传输时延 T_w 。当用户设备处在 PCH 状态时,经过 T_w 后,数据分组才会被传输,即用户设备在最低功耗的状态保持了最长时间;当一组数据分组需要被传输时,可以在 FACH 上传输较小的数据分组,避免用户设备进入 DCH,从而减少不必要的功耗;当缓存的数据分组过大,不能在 FACH 上传输时,该数据分组将在 DCH 上一次性传输。

3.2 算法流程

本文算法有 5 个输入量: B_PCH_DCH 、 B_FACH_DCH 、 T_1 、 T_2 、 T_{clear} 、 T_{clear} 表示传输数据后清除 RLC 缓存的时间。若新数据分组 p 的大小大于或等于 B_FACH_DCH ,则将其存入队列 Q_1 ,否则就存入队列 Q_s 。

当用户设备处在 DCH 状态时,将一次性发送 Q_1 和 Q_s 队列中的数据分组。

当用户设备处在 FACH 状态时,若 Q_s 中的前几个数据分组总和不大 B_FACH_DCH ,将逐一发送;若数据分组总和超过 B_FACH_DCH ,在传输下一个数据分组前,将等待 T_{clear} ,清空 RLC 缓存中的数据。这样可以保持用户设备一直处在 FACH 状态,直到 Q_s 中的数据被传送完。

当用户设备处于 PCH 状态时,算法将比较 Q_1 和 Q_s 队列中前面数据分组的传输时延。在等待 T_w 后,用户设备决定发送一个数据分组还是整个队列,并完成到 FACH 或 DCH 的切换。该切换过程存在 3 种情况,具体介绍如下。

- 若最小传输时延的数据分组在 Q_1 中,则 Q_1 中数据将被发送,并切换到 DCH。
- 若最小传输时延的数据分组在 Q_s 中,则计算整个 Q_1 的数据量 V_1 。若 V_1 大于或等于 B_PCH_DCH , Q_1 中数据将被发送,并切换到 DCH。
- 若 V_1 小于 B_PCH_DCH ,则计算整个 Q_s 的数据量 V_s 。若 V_s 较大,将导致用户设备长期处于 FACH 状态,其功耗可能会大于在 DCH 上一次性传输数据分组的功耗。

用户设备在 DCH 上的能耗如式(1)所示:

$$E_1 = P_1 \times (T_1 + e) + P_2 \times T_2 \quad (1)$$

其中, P_1 、 P_2 分别为设备在 DCH 和 PCH 上的功率, e 为 Q_s 在 DCH 上的传输时间。由于 DCH 数据传输速率很高, e 可以忽略。

用户设备在 FACH 上的能耗如式(2)所示。

$$E_2 = P_2 \times (T_2 + T_{clear} \times V_s / B_FACH_DCH) \quad (2)$$

若 $E_1 < E_2$,即 $V_1 > P_1 / P_2 \times B_PCH_DCH \times T_1 / T_{clear}$, Q_1 和 Q_s 中的数据都将被传送,并切换到 DCH;否则,只有 Q_s 中数据被传送,并被切换到 FACH,等待 T_{clear} 。

4 仿真

本文根据 Vergara 和 Nadjm-Tehrani^[9]估计的静态定时器和 RLC 缓存的数值进行算法仿真,结合快速休眠,给出了以下具体参数值: $T_1=4$ s, $T_2=5$ s, $B_FACH_DCH=294$ byte, $B_PCH_DCH=542$ byte。另外, Qian 等人^[10]对 HTC TyTn II 测量了平均信道功率,得到 $P_{FACH}=460$ mW, $P_{DCH}=800$ mW, $P_{PCH}=12$ mW。为了保证用户设备的功率损耗都在数据传输上,本文将 PPCH 设为 0。

4.1 算法测试

为了检验算法的有效性,本文输入两组不同特定大小的数据分组,分别组成队列 Q_1 和 Q_s ,对算法进行测试,其中 $T_w=30$ s。

如图 3 所示,使用本文算法前,用户每隔 5 s 发送 1 个 600 byte 的数据分组,数据分组的大小超过 B_PCH_DCH 时,用户设备状态直接切换到 DCH;使用本文算法后,用户设备保持在 DCH 的时间明显减少,即本文算法降低了设备功耗。

如图 4 所示,使用本文算法前,用户每隔 5 s 发送 1 个 70 byte 的数据分组,当数据分组的大小未超过 B_PCH_DCH 时,用户设备状态切换到 FACH;使用本文算法后,用户设备保持在 FACH 的时间明显减少,本文算法降低了设备功耗。

4.2 仿真结果

图 5 仿真了使用本文算法前后,随机数据流量轨迹和功耗的变化。由图 5 可以看出,未采用本文算法时,设备消耗能量 $E_{原始}=92.72$ J;采用本文算法后, T_w 取值为 30 s、25 s、20 s、15 s、10 s、5 s 时的设备消耗能量分别为 33.94 J、38.06 J、42.6 J、50 J、55.5 J、68.86 J,即新算法有效降低了设备能耗,且 T_w 越大,设备能耗越低。考虑篇幅限制,本文只列出了部分仿真结果。

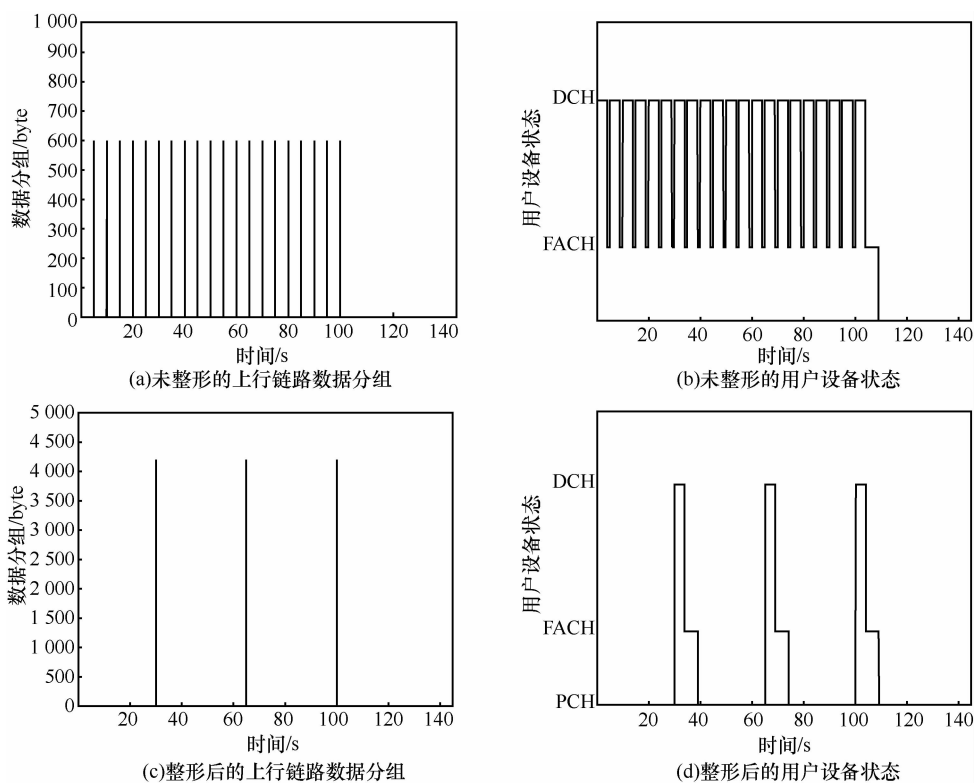


图 3 传输大数据分组的测试

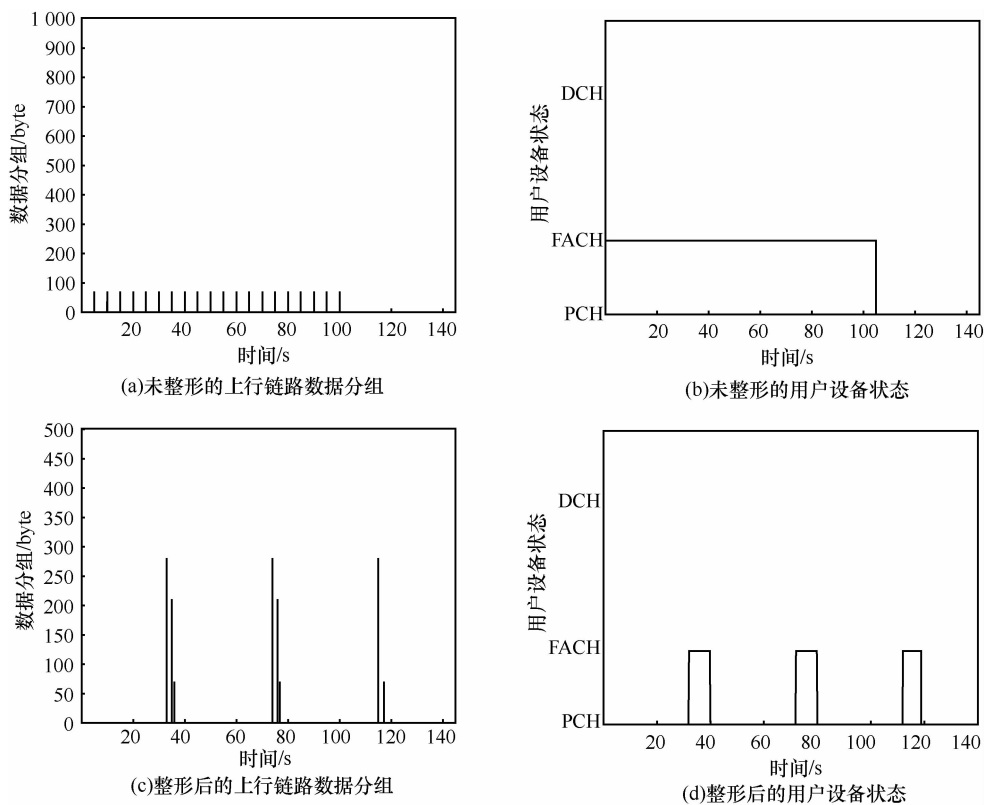
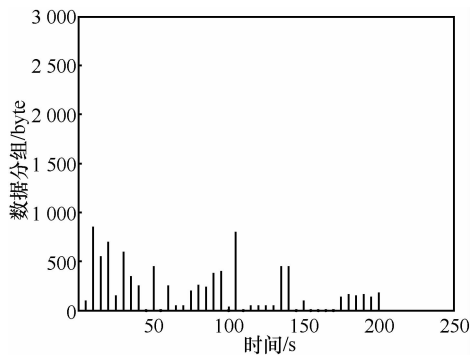
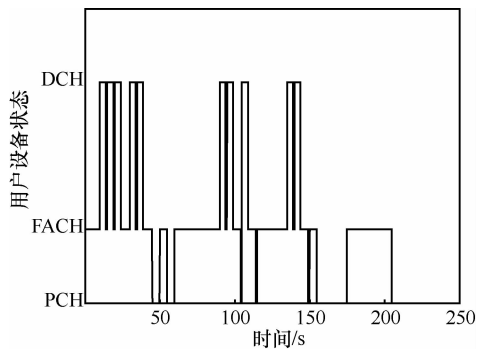


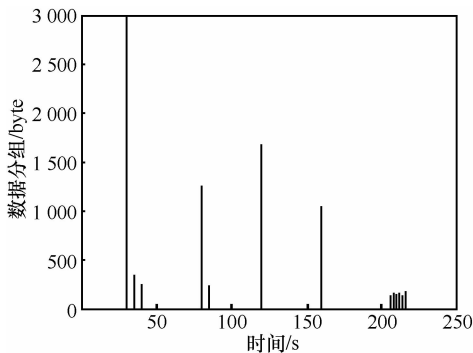
图 4 传输小数据分组的测试



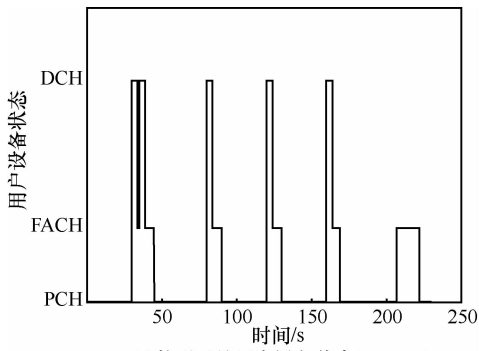
(a)未整形的上行链路数据分组



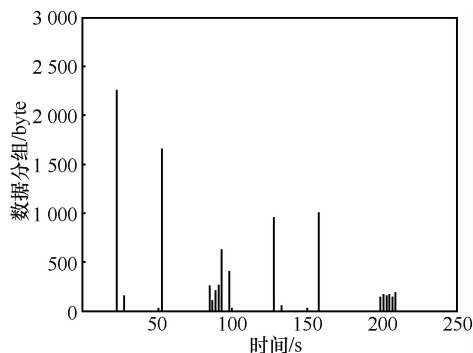
(b)未整形的用户设备状态



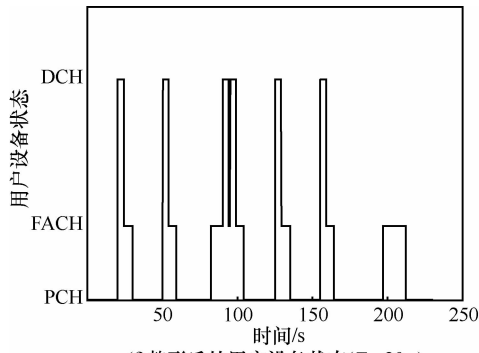
(c)整形后的上行链路数据分组($T_w=30$ s)



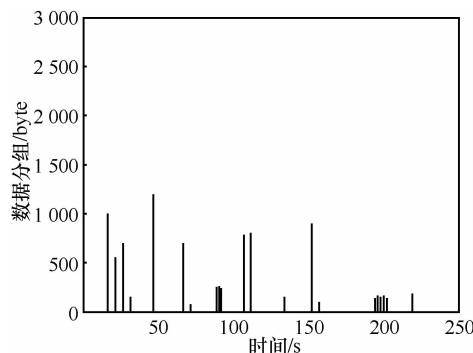
(d)整形后的用户设备状态($T_w=30$ s)



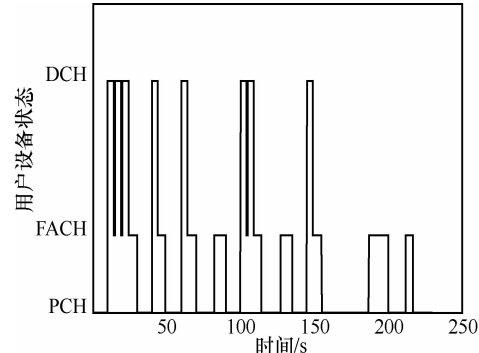
(e)整形后的上行链路数据分组($T_w=20$ s)



(f)整形后的用户设备状态($T_w=20$ s)



(g)整形后的上行链路数据分组($T_w=10$ s)



(h)整形后的用户设备状态($T_w=10$ s)

图5 流量轨迹和用户设备状态

图 6 对 CLBB 算法进行了仿真,得到了不同 T_w 下相应的节能比例,并将仿真结果与本文算法进行了对比。可以看出,本文提出的算法节能比例高于 CLBB 算法,最低节能比例可达到 32%。

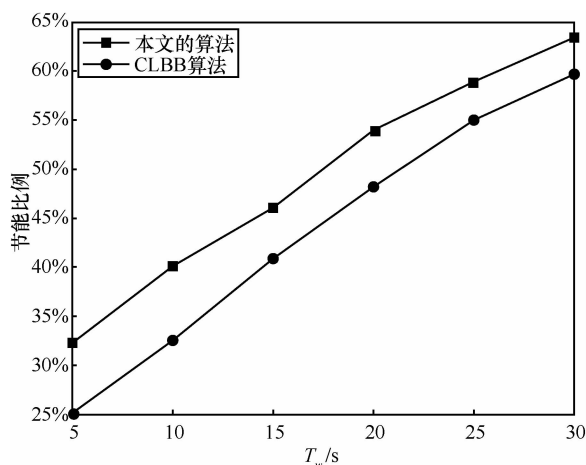


图 6 不同 T_w 下的节能比例

5 结束语

本文提出的节能算法通过降低用户设备 3G 背景流量的能耗,延长了电池使用时间,在不考虑服务质量的前提下,有效降低了用户设备的功耗。仿真结果显示,在不同传输时延 T_w 下,用户设备功耗降低比例为 32%~63%,且 T_w 越大,设备功耗越低。因此,应选择一个合适的 T_w ,在保证一定服务质量的同时,尽可能地降低设备功耗。下一步工作是要将本文算法应用在实际流量中,在多种不同的设备应用程序上测试,最终达到延长用户设备电池使用时间的目的。

参考文献

- Balasubramanian N, Balasubramanian A, Venkataramani A. Energy consumption in mobile phones: a measurement study and implications for network applications. Proceedings of the 9th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, Chicago, Illinois, USA, 2009
- Schulman A, Navda V, Ramjee R, *et al.* Bartendr: a practical approach to energy-aware cellular data scheduling. Proceedings of the 16th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Chicago, Illinois, USA, 2010
- Könönen V, Paakkonen P. Optimizing power consumption of always-on applications based on timer alignment. Proceedings of the 3th International Conference on Communication Systems and Networks, Oulu, Finland, 2011
- Liu H, Zhang Y, Zhou Y. Tail theft: leveraging the wasted time for saving energy in cellular communications. Proceedings of the 6th International Workshop on MobiArch, Bethesda, Maryland, USA, 2011
- 3GPP Discussion and Decision Notes RP-090960. Configuration of Fast Dormancy in Release 8, 2009
- Vergara E J, Nadjm-Tehrani S. Energy-aware cross-layer burst buffering for wireless communication. Proceedings of the 3rd International Conference on Future Energy Systems: Where Energy, Computing and Communication Meet (e-Energy), Madrid, Spain, 2012: 1~10
- 3GPP TS 25.322. RLC Protocol, 2013
- Khan M S, Khan M M. Investigation of Handovers in 3G UMTS Traffic Classes. Saarbrücken: Lambert Academic, 2010
- 邹天阡. 网络模拟中背景流量模型的研究. 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2010
- Qian F, Wang Z, Gerber A, *et al.* Profiling resource usage for mobile applications: a cross-layer approach. Proceedings of the 9th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), Bethesda, MD, USA, 2011

[作者简介]



章坚武,男,博士后,杭州电子科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为无线通信与网络信号处理等。



袁杰,男,杭州电子科技大学硕士生,主要研究方向为 Android 系统节能性与安全性等。

(收稿日期:2014-06-26)