



移动互联网业务对基站能耗的影响

李雯雯¹, 边森¹, Chien Aun Chan², 邵泽才¹

(1. 中国移动通信有限公司研究院绿色通信技术研究中心 北京 100053;

2. 澳大利亚墨尔本大学通信能效中心 澳大利亚维多利亚 3010)

摘要:快速发展的移动互联网业务,为运营商带来了诸多挑战,业务特性与网络能耗之间的映射关系尚属空白。为了准确评估业务对网络资源的影响以及网络设备由此产生的能耗,深入物理层资源粒度,提出一种改进的“二次线性映射”模型及四步建模思路,同时选取了 11 种典型业务场景,定量评估数据、信令分别消耗的网络资源和能耗大小,便于业务能耗的精细化管理和运营管控,为降低端到端资源开销和业务能耗打下基础。

关键词:移动互联网;业务;能耗;模型;信令

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2015253

Influence of Mobile Internet Services on Base Station Energy Consumption

Li Wenwen¹, Bian Sen¹, Chien Aun Chan², Shao Zecai¹

(1. Green Communications Research Center, China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China;

2. Centre for Energy-Efficient Telecommunications, University of Melbourne, Victoria 3010, Australia)

Abstract: Rapid growth in mobile internet service has brought significant challenges to the mobile operators in terms of network resource utilization and energy consumption. The relationship between mobile services' characteristics and its impact on network energy consumption is still unclear. In order to accurately assess the impact of mobile services on network resources and the resulting energy consumption of mobile network equipment, the physical layer resources requirements for various mobile services was measured, and then an improved four-step "Quadratic Linear Mapping" modeling methodology was proposed. 11 types of typical services were quantitatively evaluated in terms of network resources and the resulting network energy consumed by data and signaling traffic. The proposed methodology provided a foundational model for mobile operators to develop optimization techniques to reduce the overall energy consumption of provisioning mobile internet services.

Key words: mobile internet, service, energy consumption, model, signaling

收稿日期:2015-05-29;修回日期:2015-09-22

基金项目:国家高技术研究发展计划("863"计划)基金资助项目(No.2014AA01A703, No.2014AA01A704)

Foundation Items: The National High Technology Research and Development Program of China(863 Program) (No. 2014AA01A703, No.2014AA01A704)

论文引用格式:李雯雯,边森,Chien Aun Chan 等.移动互联网业务对基站能耗的影响.电信科学,2015253

Li W W, Bian S, Chien A C, *et al.* Influence of mobile internet services on base station energy consumption. Telecommunications Science, 2015253



1 引言

随着智能终端的普及、移动互联网的快速发展以及 LTE(long term evolution, 长期演进)的大规模部署, 用户的通信行为发生了巨大变化, 已不仅仅局限于传统电信业务, 更多以移动数据业务为主。2014 年底手机网民规模达 5.57 亿户, 人均周上网时长达 26.1 h^[1], 各类型应用层出不穷, 2014 年第 3 季度移动应用下载手机端的比例首次超过 PC 端, 达到 51%, 未来移动互联网将占据大部分流量^[2]。

快速发展的移动互联网业务, 为运营商网络承载、营收及能耗带来了挑战, 可能导致网络信令开销较大、用户面资源浪费、背景流量挤占通信资源等问题, 使得整网能效不断降低, 特别是微信、QQ、微博、Facebook 等 IM(instant message, 即时通信)或 SNS(social network site, 社交网站)类业务, 普遍具有流量占比小、信令资源消耗多、信道利用率低等特点, 曾引发著名的“信令风暴”事件^[3]。

随着对 OTT(over the top)信令消耗的认知提升, 业界开展了一系列相关的应对策略: 如采用 GCM(Google cloud messaging, 谷歌云推送消息服务)或 APNS(Apple push notification service, 苹果推送通知服务)^[4]统一管理并推送心跳分组以解决信令风暴问题。这些措施更多关注终端侧用户体验的提升, 较少考虑网络侧(特别是无线接入网侧)的资源消耗和电力消耗。对于运营商来说, 目前尚无有效的手段评估 OTT 业务对于网络设备能耗及通信质量的影响, 业界也缺乏统一标准衡量业务特性与网络资源之间的关系, 运营商普遍陷入“增量不增收”的尴尬境地。

为了准确评估业务对网络资源的影响以及网络设备由此产生的能耗, 本文选取了 11 种典型业务场景(包括传统电信业务及 OTT 业务), 采用数学建模的方式, 结合现网实测数据, 构建统一的业务能耗模型, 提供流量、信令导致基站能耗变化的定量分析。为今后推动 OTT 厂商控制

流量消耗、优化传输方式打下基础, 实现端到端资源开销和业务能耗的持续下降。

2 现有业务能耗研究存在的不足

传统基站能耗模型从宏观角度描述了基站输入功率(P_{in})与输出功率(P_{out})的线性关系^[5,6], 不区分业务类型、属性, 也很难量化数据、信令分别占用的网络资源和产生的能耗差异。业务特征与网络资源的映射关系往往复杂而重要, 不仅需要考虑到用户面数据占用的资源, 还需考虑控制面信令的负荷差异, 特别对于突发性的小分组类业务, 信令消耗往往占较大比例。

针对 OTT 业务带来的运营压力, 参考文献[7,8]分析了 IM 业务的保活信息和短消息特征以及数据、信令在 MAC(media access control, 介质访问控制)层的资源占比。然而研究业务对网络侧的能耗影响更具挑战性, 需深入 PRB(physical resource block, 物理资源块)或 RE(resource element, 资源粒子)粒度, 构建兼具理论研究价值和实际评估预测的业务能耗数学模型。

3 改进的业务能耗模型

3.1 业务能耗建模思路

针对传统能耗模型存在的不足, 本文提出一种改进的“二次线性映射”模型, 如图 1 所示。基站输入功率(P_{in})、输出功率(P_{out})与 PRB 或 RE 之间经历两次线性变换。

- 资源映射: 将业务特征分解至网络流量及信令消耗, 再映射为物理层 RE 资源占用。
- 能耗映射: 将物理层 RE 资源映射为基站“增量功耗”(incremental power)和“基线功耗”(baseline power), 分别得出业务数据流量和信令负荷对基站能耗的影响。

将二次线性模型的映射过程进一步分解, 包括以下 4 个

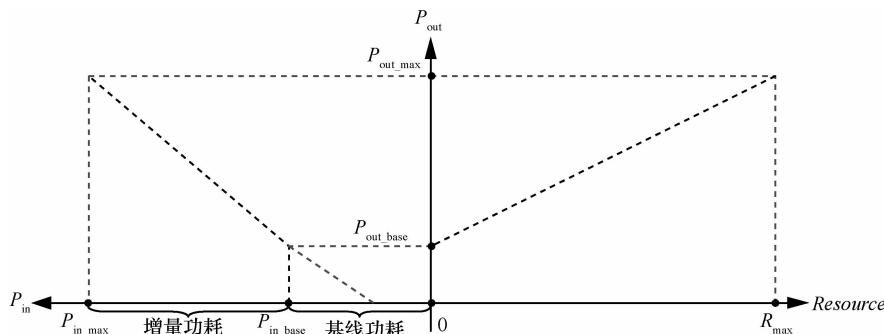


图 1 二次线性映射模型

关键步骤,如图 2 所示。

(1) 建立基站功耗(P_{in})与资源利用率(PRB)的映射关系。选取现网典型基站进行实测,得到 P_{in} 与 P_{out} 的曲线关系,经过资源映射确定每 PRB 的基站功耗。

(2) 建立用户面 PDCP (packet data convergence protocol, 分组数据汇聚协议)层吞吐量与资源利用率(PRB)的映射关系。选取现网不同城市的基站进行实测,确定用户面每 PRB 对应的平均吞吐量,继而推导出 PRB 利用率为 100% 时的最大吞吐量。如果该基站的平均 SINR (signal to interference plus noise ratio, 信号与干扰加噪声比)较差,则传输相同的数据量会消耗更多的 PRB。

(3) 分析控制面不同物理信道对应的 RE 资源占比。根据 3GPP 物理层相关协议^[9,10],确定上/下行数据、信令所占 RE 数量及相应比例,用于基线功耗的分配和计算。

(4) 分析被测业务在物理层所占 RE 资源及时间。使用鼎利无线网空口测试工具^[11],测试业务在不同物理信道上的数据速率、信令 PRB 占用情况和有效运行时间,确定相关业务特征。

3.2 TD-LTE 基站能耗分解

基站主设备由 BBU (building baseband unit, 基带处理单元) 和 RRU (radio remote unit, 射频拉远单元) 构成,RRU 从架构上可分为 RF (radio frequency, 射频小信号) 和 PA (power amplifier, 功率放大器) 两大模块。从功耗角度来看,BBU 功耗(P_{in})实际上随负荷或资源变化很小,可视为固定值;而 PA 功耗可占 RRU 功耗的 40%~80%,且 PA 仅在下行链路上处于正常工作状态^[6]。

图 1 中的增量功耗体现了 RRU 功耗随负荷或资源变化的趋势,主要由下行链路的 PA 产生,可进一步映射为下行数据和下行信令产生的功耗。对于基线功耗,由于 no user、idle user、active user 多场景可能并存^[12],因此基线功耗包括所有上下行数据、信令产生的功耗,并以不同比例呈现。

将 RRU 的基线功耗与增量功耗分别映射到上下行数据流量和信令负荷,如图 3 所示(为了简化模型,上行信令与上行数据合并称为 UL_RE)。

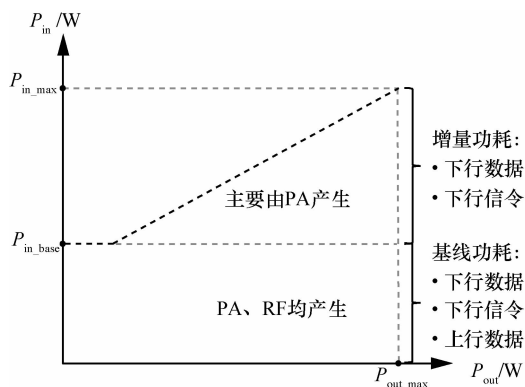


图 3 RRU 功耗分解

3.2.1 RRU 增量能耗计算方法

RRU 增量功耗可映射为下行数据产生的功耗和下行信令产生的功耗,均使用图 3 中增量功耗对应的曲线斜率进行计算。

$$\begin{cases} E_{DL.data_incre} = \frac{P_{in_max} - P_{in_base}}{T_{max_DL.data}(t)} T_{OTT_DL.data}(t) D_{OTT_DL.data}(t) \\ E_{DL.sig_incre} = \frac{P_{in_max} - P_{in_base}}{R_{DL.data} + R_{DL.sig}} \cdot R_{OTT_DL.sig}(t) D_{OTT_DL.sig}(t) \end{cases} \quad (1)$$

3.2.2 RRU 基线能耗计算方法

将 RRU 基线功耗按一定比例分配给所有上下行数据、信令,假设与业务不直接相关的固定信令开销能耗占比为 U_{max} (U_{max} 为设备生产商预留资源,一般取 20%~30%)。

$$\begin{cases} E_{DL.data_base} = \frac{\rho_{data} P_{in_base}}{(1 - U_{max}) [T_{max_DL.data}(t) + T_{max_UL.data}(t)]} T_{OTT_DL.data}(t) D_{OTT_UL.data}(t) \\ E_{DL.sig_base} = \frac{\rho_{DL.sig} P_{in_base}}{(1 - U_{max}) R_{DL.sig}} R_{OTT_DL.sig}(t) D_{OTT_DL.sig}(t) \\ E_{UL.data_base} = \frac{\rho_{data} P_{in_base}}{(1 - U_{max}) [T_{max_DL.data}(t) + T_{max_UL.data}(t)]} T_{OTT_UL.data}(t) D_{OTT_UL.data}(t) \end{cases} \quad (2)$$

其中,数据、信令在基线功耗中的分配比例计算如下:

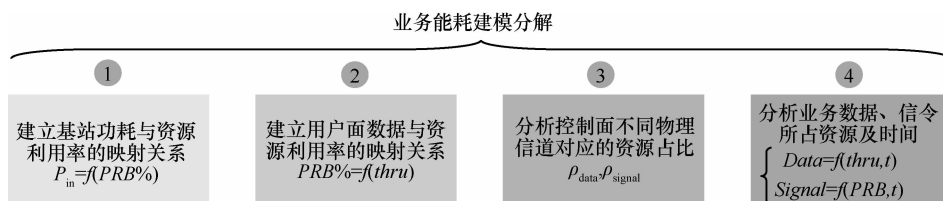


图 2 业务能耗建模分解步骤



$$\begin{cases} \rho_{\text{data}} = \frac{P_{\text{DSCH}} + UL_RE}{DL_RE + UL_RE} \\ \rho_{\text{DL,sig}} = \frac{P_{\text{DCCH}}}{DL_RE + UL_RE} \end{cases} \quad (3)$$

式(1)~式(3)中的各变量含义见表1。

4 业务能耗模型现网应用

4.1 现网数据调研及测试

根据第3.1节介绍的建模思路,分为以下4个步骤获取相关数据,并代入式(1)~式(3)计算业务数据、信令在基站产生的能耗比。

4.1.1 步骤1:现网基站 $P_{\text{in}}-P_{\text{out}}$ 曲线关系调研

(1)基站配置信息

TD-LTE 分布式宏基站,S1/1/1 配置,支持F频段2载波(20 MHz+15 MHz),RRU支持2通道,每通道标称发射功率为40 W(即46 dBm)。

(2)BBU、RRU $P_{\text{in}}-P_{\text{out}}$ 测试结果

BBU、RRU功耗情况测试结果见表2、表3,对应的曲

表2 BBU 功耗(3小区)

Resource	0	25%	50%	75%	100%
BBUP _{in} /W	103.5	104.2	105.1	106.2	107.66

表3 RRU 发射功率及对应功耗(单小区)

Resource	0	25%	50%	75%	100%
P _{out} /W	1	18.6	39.3	61.2	74.2
RRUP _{in} /W	84.3	122.4	156.8	196	202.5

线如图4、图5所示。

从表2、表3可以得到以下结论。

- BBU功耗实际上随负荷变化很小、可视为固定值: BBU $P_{\text{in}} \approx 105.33 \text{ W}$ 。
- RRU最大功耗为:RRU $P_{\text{in,max}}=202.5 \text{ W}$ 。
- RRU基线功耗为:RRU $P_{\text{in,base}}=84.3 \text{ W}$ 。

4.1.2 步骤2:现网PRB利用率与吞吐量调研

调研现网基站的上下行PRB利用率与用户平面PDCH SDU数据量,以15 min为粒度,统计北京、杭州两个城市、3个高中低负荷站点、共18小区连续7天的数据。

表1 式(1)~式(3)中的各变量含义

	变量名	含义	单位	数据来源
式(1)	$E_{\text{DL,data,incr}}$	RRU下行数据产生的增量功耗	焦耳(J)	
	$P_{\text{in,max}}$	RRU最大功耗	瓦(W)	第4.1.1节
	$P_{\text{in,base}}$	RRU基线功耗	瓦(W)	第4.1.1节
	$T_{\text{max_DL,data}}(t)$	小区PDCP层下行最大吞吐量	千比特每秒(kbit/s)	第4.1.2节
	$T_{\text{OTT_DL,data}}(t)$	被测业务PDCP层下行数据流量	千比特每秒(kbit/s)	第4.1.4节
	$D_{\text{OTT_DL,data}}(t)$	被测业务数据持续时间	秒(s)	第4.1.4节
	$E_{\text{DL,sig,incr}}$	RRU下行信令产生的增量功耗	焦耳(J)	
	$R_{\text{DL,data}}$	下行数据所占RE数	个	第4.1.3节
	$R_{\text{DL,sig}}$	下行信令所占RE数	个	第4.1.3节
	$R_{\text{OTT_DL,sig}}(t)$	被测业务控制信道所占RE总数	个每秒(RE/s)	第4.1.4节
	$D_{\text{OTT_DL,sig}}(t)$	被测业务信令持续时间	秒(s)	第4.1.4节
式(2)	$E_{\text{DL,data,base}}$	RRU下行数据产生的基线功耗	焦耳(J)	
	ρ_{data}	上下行数据在上下行总资源占比		第4.1.3节
	U_{max}	与业务不相关的固定信令开销比例		设备生产商预留资源
	$T_{\text{max_UL,data}}(t)$	小区PDCP层上行最大吞吐量	千比特每秒(kbit/s)	第4.1.2节
	$E_{\text{DL,sig,base}}$	RRU下行信令产生的基线功耗	焦耳(J)	
	$\rho_{\text{DL,sig}}$	下行信令在上下行总资源占比		第4.1.3节
	$E_{\text{UL,data,base}}$	RRU上行数据产生的基线功耗	焦耳(J)	
	$T_{\text{OTT_UL,data}}(t)$	被测业务PDCP层上行数据流量	千比特每秒(kbit/s)	第4.1.4节
	$D_{\text{OTT_UL,data}}(t)$	被测业务数据持续时间	秒(s)	第4.1.4节
式(3)	P_{DSCH}	PDSCH物理信道所占RE数	个	第4.1.3节
	UL_RE	上行所有RE资源总和	个	第4.1.3节
	DL_RE	下行所有RE资源总和	个	第4.1.3节
	P_{DCCH}	PDCCH物理信道所占RE数	个	第4.1.3节

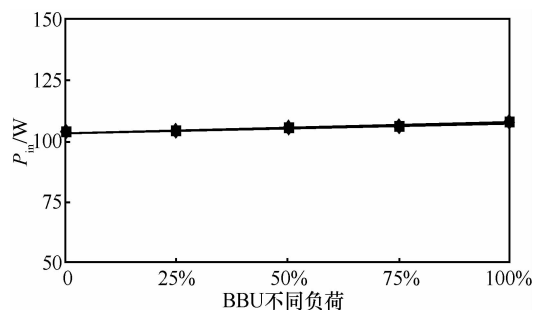


图 4 BBU 不同负荷情况下的功耗

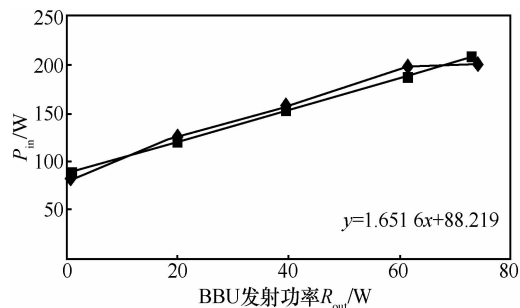


图 5 单小区 RRU 功耗曲线

以杭州某站点为例,将 PRB 利用率与 PDCP 数据量一一对应,如图 6 所示。

根据图 6 拟合的曲线方程,可推导出 PRB 利用率为 100%时对应的上下行最大吞吐量($T_{\max}$)。选取北京、杭州负荷较高的 3 个小区,统计忙时、闲时的最大吞吐量见表 4。

4.1.3 步骤 3:物理信道资源数(RE)计算

为避免混合组网的邻频干扰,设置 TD-LTE 上下行时隙配比为 3:1+3:9:2(特殊时隙不传输业务),带宽为 20 MHz,常规循环前缀。假设天线端口为 2, $N_g=1/6$ 。PDCCH 占用常规子帧前 3 个 OFDM 符号,占用特殊子帧前 2 个 OFDM 符号。为了简化模型,参考信号只考虑 CRS(小区专用参考信号),不考虑 MBSFN(广播多播)和 DRS(波束成形)。上下行子帧 RE 资源分布如图 7 所示。

以 1 个无线帧(10 ms)为单位,计算各物理信道所占 RE 数及相关比例如下。

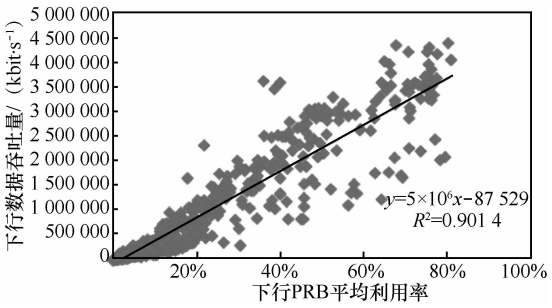
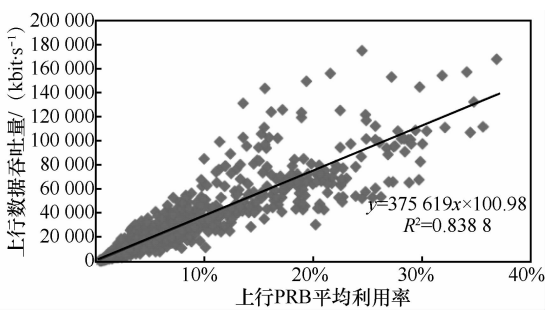


图 6 杭州某站点上/下行 PRB 利用率与数据吞吐量对应关系

- 上行所有资源总和: $DL_RE=CRS+PSS+SSS+PBCH+PCFICH+PHICH+PDCCH+PDSCH=12\ 800+288+264+128+72+23\ 000+71592=108\ 144RE$ 。
- 下行所有资源总和: $UL_RE=PRACH+DMRS+SRS+PUCCH+PUSCH=33\ 600+1200+144-72=34\ 872RE$ 。
- 上下行数据在上下行总资源占比: $\rho_{\text{data}}=(PDSCH+UL_RE)/(DL_RE+UL_RE)=0.744\ 4$ 。
- 下行信令在上下行总资源占比: $\rho_{\text{DL-sig}}=PDCCH/(DL_RE+UL_RE)=0.160\ 8$ 。

4.1.4 步骤 4:业务占用网络资源测试

使用鼎利无线网空口测试分析工具^[11],完成 11 种业务(包括短/彩信、收/发邮件、FTP、网页登录等)在 TD-LTE 现网中的数据、信令测试,同时分别统计业务信道的数据流量、控制信道的 RE 数和持续时间,见表 5。

4.2 业务能耗计算结果

从表 4 中选取参数配置基本相同、负荷较高的北京小

表 4 各站点最大吞吐量估计

站点	忙时(上午 8 点-凌晨 1 点)		闲时(凌晨 1 点-上午 7 点)	
	下行最大吞吐量 $T_{\max,DL}/(kbit\cdot s^{-1})$	上行最大吞吐量 $T_{\max,UL}/(kbit\cdot s^{-1})$	下行最大吞吐量 $T_{\max,DL}/(kbit\cdot s^{-1})$	上行最大吞吐量 $T_{\max,UL}/(kbit\cdot s^{-1})$
北京小区 1	114 199.12	20 071.32	74 807.58	11 852.23
北京小区 2	140 877.02	18 721.43	96 831.03	11 684.01
北京小区 3	112 109.91	23 658.75	96 577.40	24 880.64
杭州小区 1	11 960.04	2 744.96	12 516.45	2 551.60
杭州小区 2	13 145.31	3 368.88	18 536.11	3 239.64
杭州小区 3	12 332.97	3 050.24	17 181.91	2 634.76



表 5 11 种业务场景的数据、信令资源占用测试结果

序号	业务场景	下行数据流量	上行数据流量	数据持续时间	控制信道所占 RE 总数	信令持续时间
		$T_{OTT_DL_data}/(\text{kbit} \cdot \text{s}^{-1})$	$T_{OTT_UL_data}/(\text{kbit} \cdot \text{s}^{-1})$	D_{OTT_data}/s	$R_{OTT_DL_sig}/(\text{RE} \cdot \text{s}^{-1})$	$D_{OTT_DL_sig}/\text{s}$
1	发送短信息	1.26	1.60	1	192.00	14
2	接收短信息	1.43	0.62	1	144.00	12
3	发送彩信	1.61	139.28	19	144.00	35
4	发送邮件	16.31	1 136.59	17	129.87	31
5	接收邮件	86.56	5.21	3	164.16	17
6	FTP 上传	95.87	4 678.38	101	124.05	114
7	FTP 下载	1 562.90	27.28	299	138.65	311
8	HTTP 刷新	511.13	31.43	27	138.09	39
9	HTTP 登录	396.24	29.99	45	135.48	56
10	微博互动	27.38	65.05	220	136.52	236
11	流媒体播放	267.06	6.15	62	144.00	78

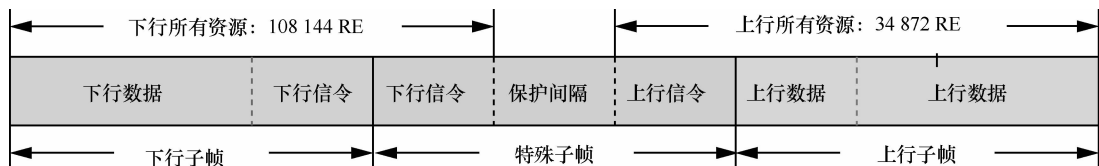
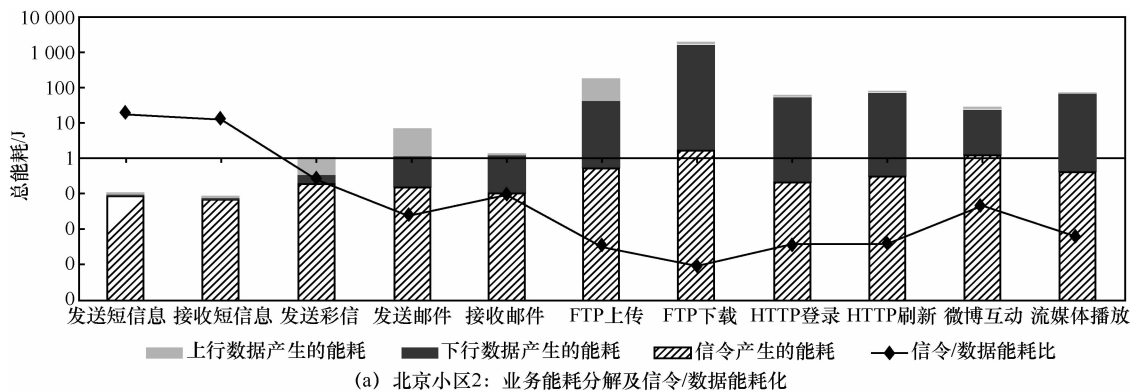
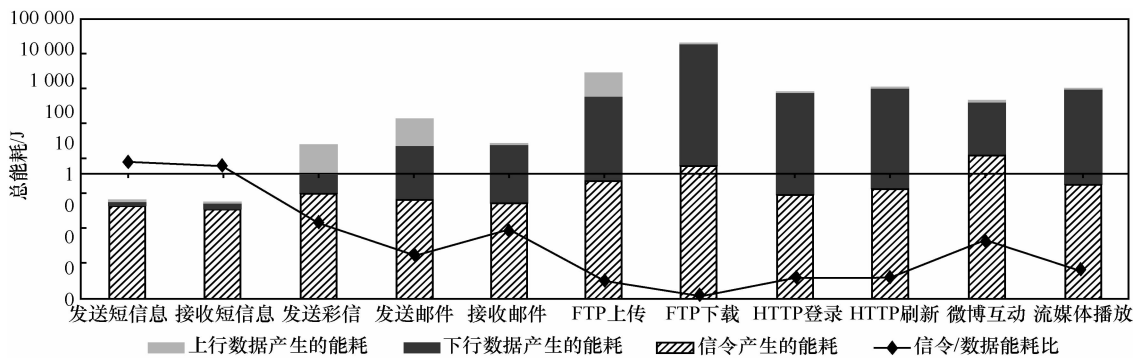


图 7 上下行子帧 RE 资源分布



(a) 北京小区2：业务能耗分解及信令/数据能耗比



(b) 杭州小区2：业务能耗分解及信令/数据能耗比

图 8 业务产生的总能耗、能耗分解及信令/数据能耗比

区 2 和杭州小区 2 作为被测网络,将第 4.1 节得到的数据代入式(1)~式(3)中,最终计算出 11 种业务场景在网络侧产生的总能耗以及数据、信令的能耗分解情况,如图 8 所示。

从图 8 可以看出,对于不连续传输的、小数据分组业

务(如短/彩信、IM/SNS 类),即使仅发送几个字节的心跳分组或通知消息,也会触发一套完整的 RRC (radio resource control,无线资源控制)建链、拆链流程,导致更多的信令开销,因此信令产生的能耗比重比较明显。而对于连续传输的、

大数据量业务(如 FTP 下载、流媒体等),大量的网络资源用于用户面的上下行数据传输,无线信道利用率高,数据产生的能耗占比相对较高。上述差异主要取决于业务特征和应用场景,以微信为代表的 OTT 业务通常消耗了更多的网络信令资源和能耗,影响了传统业务的质量和无线资源管控,增加了运营成本^[13]。

另外,对比北京和杭州的各业务能耗可以看出,不同网络的无线传输环境、业务类型、用户数及使用方式等均会导致吞吐量的差异,从而影响基站总能耗。SINR 越高, $T_{\max}$ 越低,传输同样吞吐量的数据,需要基站消耗更多的能耗。

5 结束语

传统的基站能耗模型未考虑业务特征与网络资源的映射关系,现有 OTT 业务对网络侧的影响分析也未涉及能耗领域。本文深入物理层资源粒度,提出一种改进的“二次线性映射”模型及四步建模思路,将 TD-LTE 基站能耗与上下行数据、信令资源建立映射,在此基础上根据大量的现网数据调研及测试,完整地给出了基站业务能耗建模方法,可定量计算出短/彩信、收/发邮件、FTP、网页登录、微博、流媒体等 11 种业务在网络侧的总能耗,同时可将业务能耗拆分至更细维度,从而可定量评估数据、信令分别消耗的网络资源和能耗大小,进一步对比不同业务特征和应用场景下的信令/数据能耗比。该模型填补了 OTT 业务对网络侧能效影响的空白,便于业务能耗的精细化管理和运营管控。

参考文献

- 1 中国互联网络信息中心. 中国互联网络发展状况统计报告, 2015
China Internet Information Center. China Internet Development Statistics Report, 2015
- 2 360 手机助手. 2015 年 Q1 中国手机应用行业趋势绿皮书, 2015
360 Mobile Assistant. Green Paper of 2015 Q1 China Mobile Phone Application Industry Trends, 2015
- 3 田锋. 论“信令风暴”与其解决方案. 现代电信科技, 2011(11): 29~33
Tian F. Discussion on “signaling storm” and its solution. Modern Science & Technology of Telecommunications, 2011(11):29~33
- 4 APNS&GCM Online Tester. <http://www.bryantan.info/>, 2015
- 5 Auer G, Giannini V, Desset C. How much energy is needed to run a wireless network? IEEE Wireless Communications, 2011, 18(5):40~49
- 6 Desset C, Debaillie B, Giannini V, et al. Flexible power

modeling of LTE base stations. Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Pairs, France, 2012

- 7 Chih-Lin I, Corbett R, Han S F, et al. Toward green and soft: a 5G perspective. IEEE Communications Magazine, 2014, 52(2): 66~73
- 8 Chen Y M, Gang L, Pan Z G, et al. Small data optimized radio access network signaling/control design. Proceedings of the IEEE International Conference on Communications Workshop, Sydney, Australia, 2014
- 9 3GPP TS 36.211. Physical Channels and Modulation (Release 10), 2013
- 10 3GPP TS 36.213. Physical Layer Procedures (Release 10), 2014
- 11 珠海世纪鼎利通信科技股份有限公司. Pilot Pioneer 无线网络空中接口测试工具. <http://www.dinglicom.com/products-detail.php?lv1=1&id=1>, 2013
DingLi Communications Corp., Ltd. Pilot pioneer wireless network air interface test tool. <http://www.dinglicom.com/products-detail.php?lv1=1&id=1>, 2013
- 12 3GPP TS 36.304. User Equipment (UE) Procedures in Idle Mode (Release 10), 2014
- 13 罗云彬, 黄文良, 王建海等. 微信对网络影响的技术试验及分析. 信息通信技术, 2013(4)
Luo Y B, Huang W L, Wang J H, et al. Experiment and analysis of Weixin's effects on mobile network. Information and Communications Technologies, 2013(4)

【作者简介】



李雯雯, 女, 中国移动通信有限公司研究院中级工程师、项目经理, 主要从事 TD-SCDMA/TD-LTE/WLAN 绿色通信及无线承载领域的研究工作, 关注无线网络能效提升的相关技术。

边森, 男, 中国移动通信有限公司研究院中级工程师、室经理, 主要从事 TD-SCDMA/TD-LTE 绿色通信、新能源基站等领域的研究工作, 主导多项集团重大重点课题的研究与产品开发。

Chien Aun Chan, 男, 博士后, 澳大利亚墨尔本大学通信能效中心 (CEET) 研究员, 主要从事 4G/5G 绿色通信、高效网络设计和建模等领域的研究工作。

邵泽才, 男, 中国移动通信有限公司研究院中级工程师、项目经理, 主要从事 TD-LTE 等移动通信网软硬件节能关键技术研究工作。