



基于异构网络电力应急通信场景的绿色通信方案

王春新^{1,2}, 李 信³, 王晓湘⁴, 李朝峰², 闫 磊³

(1. 南瑞集团发展部 南京 210003; 2. 北京国电通网络技术有限公司 北京 100070;

3. 国网冀北电力有限公司信通分公司 北京 100053;

4. 北京邮电大学信息与通信工程学院泛网无线通信教育部重点实验室 北京 100876)

摘 要:绿色通信是提倡节能减排、提高能源使用效率的新一代通信理念,在能源日益短缺与环境污染日益加剧的今天,绿色通信方案已成为各行业的研究热点。基于异构网络电力应急通信场景,从网络级和设备级两个角度出发,分析了电力应急通信系统的节能潜力,并提出相应的绿色通信方案,在保证通信质量的前提下节约能耗,响应绿色通信需求。

关键词:绿色通信;电力应急通信;异构网络;网络级;设备级

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.11.017

Green Communication Schemes of Heterogeneous Network-Based Electricity Emergency Communication Scene

Wang Chunxin^{1,2}, Li Xin³, Wang Xiaoxiang⁴, Li Zhaofeng², Yan Lei³

(1. Department of Development, Nari Group Corporation, Nanjing 210003, China;

2. Beijing Guodiantong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China;

3. Information & Telecommunication Company of State Grid Jibei Electric Power Co., Ltd., Beijing 100053, China;

4. Key Laboratory of Universal Wireless Communications, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Green communication is a new communication concept of promoting energy conservation and emission reduction as well as improving energy efficiency. With the growing energy shortage and environmental pollution, green communications has become the research hotspot of all the industry. The energy-saving potential of heterogeneous network-based electricity emergency communication system was analyzed and green communication schemes in network and device level were proposed. The objective is to save energy under the premise of ensuring the communication quality and consequently respond to the green communication needs.

Key words: green communication, electricity emergency communication, heterogeneous network, network level, device level

1 引言

近年来,自然灾害频发,时刻威胁着电网安全。作为国民经济命脉,电力行业应急救援、防灾减灾被提到了很高的战略地位。智能电网的规划建设也对电力应急通信提出

了新的需求,随着无线技术的发展,越来越多的无线通信技术应用到电力应急通信中,无线通信网络部署迅速,可全天候工作,可以保障重要信息的传输,为构建接入灵活、安全可靠的电力应急通信系统提供更为丰富的通信手段,技术优势逐渐显现。出色的电力应急通信系统应在



“任何时间”、“任何地点”具备通信通道的开通能力。在电力应急通信系统中,单一的无线通信手段往往无法保证通信的可靠性,为了应对突发状况,需要结合多种无线接入方式,最大程度地保障应急通信的需求,提高应急通信系统的抗毁性能,即在异构无线网络的场景下保证通信畅通。随着通信技术的飞速发展,资源过度使用、巨大的能耗与环境污染等引起人们越来越多的关注,在能源日益短缺的今天,如何节约能源、降低能耗,实现人与自然的和谐相处,实现可持续发展已成为各行业研究的一个热点问题,绿色通信(green communication)理念应运而生。绿色通信是以节能减排、减少环境污染、资源浪费以及对人体和环境的危害为目标的新一代通信理念。

目前,基于公网无线通信场景的绿色通信研究很多,主要集中在网络级别的基站关断算法^[1-7]。其主要思想是充分利用由终端用户的移动性和数据业务的突发性所造成的业务负载不均衡的现象^[1,8],在满足业务需求的情况下,动态关断轻业务负载或空载的基站,尽可能减少活跃基站的数目,节省多余的能耗,提高能量效率。可以根据业务所占用的带宽,将新用户或负载较轻小区的用户转移到具备网络接管能力的负载量大且频谱效率高的基站^[1],或负载量大且能量效率高的基站^[2],关闭空载小区基站,实现节能。也可以为每个基站设定负载量门限值,低于门限值的基站在负载转移到其他高于门限值基站后关断^[3]。另外,还可以从全网基站能提供的业务信道数出发,将业务波动细化为大范围波动和小范围波动,从而进行基站关断^[4]。除了从网络角度出发,也有一些从终端角度出发的基于公网无线通信场景的绿色通信研究,主要研究点在节能网络选择^[9,10]和终端设备休眠^[11]。参考文献[9]提出了基于效用函数的网络选择策略,根据网络与终端业务特性的匹配度及能耗进行网络选择,并能实现两者的折中。参考文献[10]提出了一种无线数据传输的能耗模型,在蜂窝网络与Wi-Fi中选择能耗较低的网络进行数据传输,节能效果显著。参考文献[11]着重对设备的休眠状态进行研究,将休眠状态划分为不同层次,研究其节能效果。

如上所述,虽然绿色通信在公网无线通信场景下已经有许多研究并取得了一定的成果,然而基于异构网络电力应急通信场景的绿色通信研究却很少。异构网络电力应急通信场景与公网无线通信场景有所不同,其业务主要集中在电线、电塔等配用电网络信息采集与传输、特殊区域视频监控、应急抢修通信等,业务范围有限,因此并不要求全

地区无缝覆盖,特别是野外空旷地区,针对性强,但是两者也有相似之处。异构网络电力应急通信场景的业务也具有时间和空间的波动性,终端通信设备能量有限,且具有多个网络接口,能够借助公网进行数据传输,尽可能地保障通信质量。因此,异构网络电力应急通信场景具有很大的节能潜力,在保障通信质量的前提下,降低网络和设备能耗、延长设备的工作时间、实现绿色通信十分重要。本文基于异构网络电力应急通信的场景,从网络和设备两个角度出发,提出了网络级和设备级的绿色通信方案,旨在通过不同层面的探讨提供更加全面有效的电力应急通信绿色通信方案。

2 电力应急通信场景

在电力应急通信中,备选通信制式较多,主要采用电力无线宽带通信系统TD-LTE 230 MHz、公网无线通信系统2G/3G/WLAN以及卫星通信技术。目前,TD-LTE 230 MHz系统还未在全国范围内搭建,因此需要结合公网无线通信系统以及卫星通信技术,利用各通信制式的多样化、互补化,灵活地选择通信制式进行通信,在电力生产遭到突发灾害或事故的恶劣环境下,最大限度地保证通信的可靠性,提高通信速度。为尽可能地保证电力应急通信的可靠性,需要结合各种无线接入方式,因此,电力应急通信终端设备(手机、电脑等)应具有多个网络接口,即多模终端。电力应急通信业务按照内容大致可分为数据类(如应急指挥网站访问、邮件收发、大文件传输、前置系统数据同步等)、语音类(VoIP语音通信、语音对讲等)、视频类(如视频监控、视频会议等),其中语音类和交互式视频类网络质量要求较高。

在电力应急通信场景下,TD-LTE 230 MHz、2G/3G/WLAN、卫星通信等通信技术重叠覆盖,手机、电脑等应急通信终端可以通过其所在位置的所有可连接网络进行数据传输,将应急通信业务尽最大可能地传输到后端安全接入平台,进而通过电力通信专网,安全地传输到电力应急指挥中心。其中卫星通信技术重点考虑北斗卫星导航网,北斗卫星既可以提供精确定位,又支持短信形式的数据传输,对无信号地区比较实用。电力应急通信场景如图1所示。

3 网络级的绿色通信方案

在异构网络电力应急通信场景下,多系统共存,网络资源丰富但业务数量有限,而且业务区域相对集中,具有一定的地理稀疏性,同时业务也具有时空波动性,有很大的节能潜力,可以充分利用上述特点实现网络级的绿色节

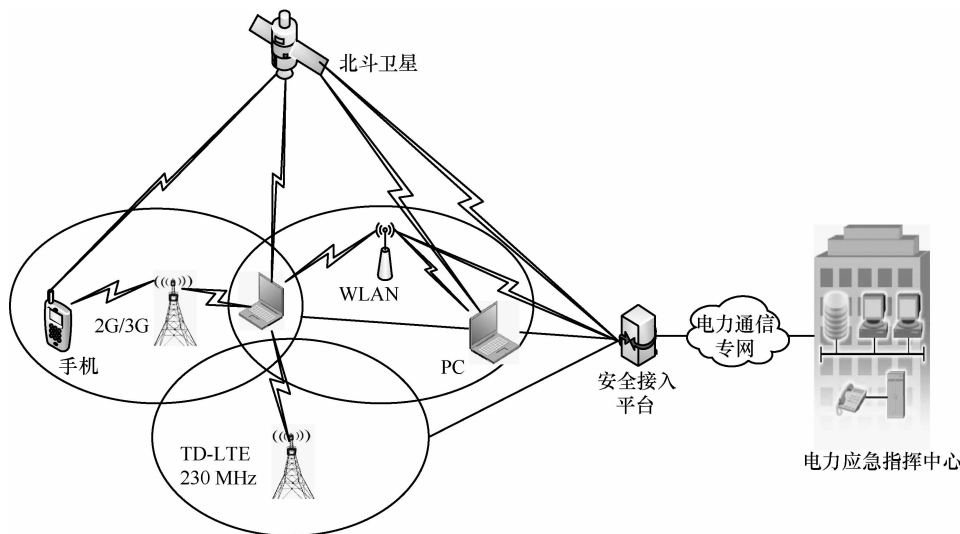


图 1 电力应急通信场景

能减排。这里仅针对 TD-LTE 230 MHz 系统进行研究, 2G/3G/WLAN、卫星通信技术属于公网无线通信的范畴, 不在考虑范围内。

在异构网络电力应急通信场景下, TD-LTE 230 MHz 系统与公网无线通信系统共存, 以保障通信质量, 但是由于业务数量有限, 无线网络资源往往得不到充分利用, 特别是在 TD-LTE 230 MHz 系统与公网无线通信系统重叠覆盖且都满足业务需求的区域。本文通过对网络设定优先级节省总体能耗, 考虑到电力应急通信业务的地域相对集中, 可以在野外空旷地区实现 TD-LTE 230 MHz 系统的带状覆盖。电力应急通信的业务主要集中在电线、电塔等配用电网络的信息传输、应急抢修通信等, 在分布密度小的野外空旷地区, 并不要求 TD-LTE 230 MHz 系统全地区无缝覆盖, 因此可以采取带状覆盖技术, 沿着电线、电塔的分布走向进行覆盖, 在保证通信质量的前提下减小总体覆盖范围, 利用地理分布的特点节省能耗, 实现节能减排。可以采用 BBU+RRU 分布式基站, 一个 BBU 供多个 RRU 共享, 实现 RRU 之间的资源调度, 各 RRU 近天线安装, 组网方式十分灵活, 通过“之”字型布站和合理的天线选型^[12], 可以构造沿电线电塔分布走向的带状专网远距离覆盖, 减少切换次数, 提高覆盖质量, 降低功耗。同时, 考虑到边缘终端移动可能引起的通信质量恶化, 可以通过提升天线挂高、增强载波发射功率、调整或增加 RRU 分布等措施, 扩展带状覆盖范围, 充分保障通信需求, 这既节省了能耗、减少了配套需求、降低了建网成本, 也提高了组网效率。

考虑到应急通信终端的移动性和业务的突发性造成

的业务负载不均衡的情况, 可以将公网基站关断思想引入 TD-LTE 230 MHz 系统, 在满足业务需求的情况下, 动态关断轻业务负载或空载的基站, 节省多余的能耗, 提高能量效率, 实现 QoS 保证与能量消耗的折中。基站关断算法基本模型如下。

假设异构网络电力应急通信场景中 TD-LTE 230 MHz 系统的基站个数为 B , 终端用户数为 U , 基站有两种工作模式, 即活跃模式和关闭模式。活跃模式是基站的正常工作模式, 关闭模式下基站不消耗任何能量, 因此假定活跃模式下基站 j 消耗的能量为 $E_j (0 < j \leq B)$, 关闭模式下基站 j 消耗的能量为 0。定义一个 0-1 矩阵 $X[X_{ji}] (0 < j \leq B, 0 < i \leq U)$ 表示重叠密集覆盖区域内用户与基站的连接状态, 若用户 i 与基站 j 相连, 则 X_{ji} 为 1, 否则为 0。基站关断算法的目标是在保障业务需求的情况下, 尽可能减少活跃基站的数目, 即最小化基站平均消耗的能量 E_m 。因此, 目标函数可以描述为:

$$E_m = \min \frac{\sum_{j=1}^B E_j \operatorname{sgn}(\sum_{i=1}^U X_{ji})}{B} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^B X_{ji} = 1, \forall i = 1, 2, \dots, U \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^U X_{ji} \frac{R_i}{\eta_{ji}} \leq (1 - \sigma) W_j, \forall j = 1, 2, \dots, B \quad (3)$$

$$X_{ji} \in \{0, 1\}, \forall i = 1, 2, \dots, U, \forall j = 1, 2, \dots, B \quad (4)$$

其中, R_i 为用户 i 需要的传输速率, η_{ji} 为用户 i 与基站 j 相连时的频谱效率, 则 R_i/η_{ji} 表示用户 i 与基站 j 相连时所占用的带宽。 W_j 为基站 j 的带宽限制, σ 为带宽预留系数。



式(2)表示一个用户只能与一个基站相连,式(3)表示用户占用基站 j 的带宽不能超过基站 j 所能提供的最大带宽值;设定带宽预留系数是考虑到新用户到来的随机性,设定的带宽预留系数越小,新业务越不容易被阻塞。通过带宽预留系数,可以实现能量消耗和业务阻塞率的折中。基站关断算法中,在满足业务需求的前提下将负载较轻的基站的用户转移到邻近基站,转移成功后关闭空载的基站。因此,最终关闭基站的集合可以表示为:

$$J_{\text{off}} = \left\{ j / \sum_{i=1}^U X_{ji} = 0, j \in (0, B], i, j \in N^* \right\} \quad (5)$$

可以为基站设定一个带宽利用率门限值,当网络中存在带宽利用率小于门限值的基站时,执行基站关断算法,当网络中所有活跃基站的带宽利用率都大于门限值时,按需开启已关闭基站。负载转移时可以根据基站负载量和频谱效率进行基站重选,在满足带宽限制的情况下优先选择负载量大且频谱效率高的基站重连。若不存在满足条件的转移基站,则仍需开启该负载所在基站,以保证通信质量。

4 设备级的绿色通信方案

基于异构网络电力应急通信场景的设备级的绿色通信方案可以分为两个层面:硬件层面和软件层面。硬件层面的绿色通信方案侧重于改进或提高设备硬件配置、供电系统,引入新型清洁能源等以降低能耗;而软件层面的绿色通信方案侧重于通过收集不同制式网络和终端的实时状态信息,自适应连通低功耗网络,从而达到节能的效果。

从终端设备角度出发,目前电力应急通信系统中各制式外购通信设备简单集成,组装到应急通信车或便携箱中,整体成本和能耗较高且抗毁性不强,急需集成度更高的设备。可以对各通信制式进行芯片级集成,并采用低功耗设计,减少散热风扇的使用数量,大幅降低设备能源消耗、提高效率。同时,终端设备也可以采用开关电源等节能供电方案,根据实际情况控制开关管开通和关断的时间比率,实现节能。

上述为硬件层面的绿色通信方案,在软件层面,可以在终端设备中引入休眠机制和节能网络选择策略,延长设备工作时间。电力应急通信终端为多模终端,具有多个网络接口,可以根据应急通信业务的特性,在满足连通度要求的情况下,采用节能的网络选择策略,在同等数据量传输的情况下,选择能耗最少的通信制式进行通信,使其余

网络接口强制进入休眠状态,从而节省终端消耗的电量。因此,节能网络选择算法基本模型如下。

假设异构网络电力应急通信场景中有了种不同的无线通信网络,对于终端设备,在满足自身业务 i 特性的前提下选择能耗最低的网络进行通信,并使其余接口强制进入休眠状态。接口能耗可分为3部分,包括建立连接需要的能耗、维持连接需要的能耗以及传输数据需要的能耗^[10],由于数据传输的能耗占了绝大部分,为简化模型,这里仅考虑传输数据的能耗。节能网络选择算法的目标是在达到设定信号强度门限值且满足既定业务特性的情况下,最小化传输所消耗的能量,因此目标函数可以描述为:

$$E_{\min} = \min_{j \in J'} nEt_j \quad (6)$$

其中, Et_j 为网络 j 传输每比特数据所消耗的能量, n 为业务需要传输的比特数, J' 为达到设定信号强度门限值且满足既定业务特性的网络集合。

接收信号强度可用于检测用户是否在某个网络的覆盖范围下以及信道质量的好坏。只有当网络接收信号强度大于设定门限值时,才认为网络 j 具备可靠通信的条件,否则不予考虑。业务特性是指业务在网络中正常传输所需要满足的基本条件,一般包括业务所需要的最大带宽、所能容忍的最大时延、允许的最大分组丢失率等,可以根据实际需要进行选取。设定的信号强度门限值和业务特性可用于进行网络的初步筛选。算法所需要的参数可以由终端采集或终端与网络交互得到。然后,对筛选留下的网络进行能耗比较,选择能耗较低的网络进行通信,使其余网络接口强制进入休眠状态,实现QoS保证与能量消耗的折中。最后筛选出的节能网络 j^* 可表示为:

$$j^* = \arg \min_{j \in J'} \{nEt_j\} \quad (7)$$

若筛选出的网络为当前连接网络,则不进行网络切换。为了避免频繁切换导致的乒乓效应,同时考虑到网络质量的时变性,设定检测周期 T ,每隔时间 T ,进行网络质量参数收集与检测,触发节能网络选择。若当前网络质量恶化,如接收信号强度小于既定门限值或不再满足业务特性要求,或存在更低能耗的满足业务特性要求的网络,将进行网络切换。

单次节能网络选择过程如图2所示。

上述选网策略是从单一终端设备出发,并未考虑到全网其余终端,如果出现多个终端同时切换到同一个网络,极有可能引发拥塞,因此可以考虑在节能网络选择策略中

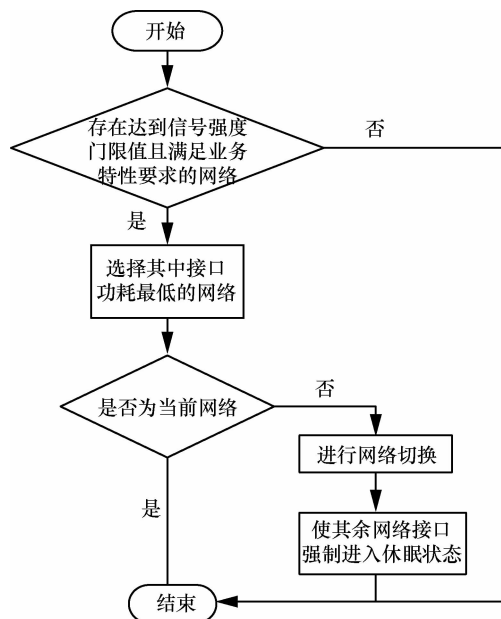


图2 节能网络选择策略流程

加入拥塞避免方案。

5 结束语

本文基于异构网络电力应急通信场景,从网络级和设备级两个角度提出了相应的绿色通信方案,为异构网络电力应急通信系统提供绿色通信的研究思路,在满足业务需求、保障通信质量的前提下,提高能源使用效率,节约能耗,为实现可持续发展尽一份力。

参考文献

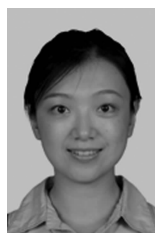
- 1 Niu Z S, Wu Y Q, Gong J, *et al.* Cell zooming for cost-efficient green cellular networks. *IEEE Communications Magazine*, 2010, 48(11): 74~79
- 2 Zhou S, Gong J, Yang Z, *et al.* Green mobile access network with dynamic base station energy saving. *ACM MobiCom*, 2009, 262(9): 10~12
- 3 Eunsung O H, Krishnamachari B. Energy savings through dynamic base station switching in cellular wireless access networks. *Proceedings of 2010 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM2010)*, Miami, USA, 2010: 1~5
- 4 Ismail M, Zhuang W H. Network cooperation for energy saving in green radio communications. *IEEE Wireless Communications*, 2011, 18(5): 76~81
- 5 Son K, Kim H, Yi Y, *et al.* Base station operation and user association mechanisms for energy-delay tradeoffs in green cellular networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2011, 29(8): 1525~1536

- 6 Marsan M A, Chiaraviglio L, Ciullo D, *et al.* Optimal energy savings in cellular access networks. *IEEE ICC Workshops*, Dresden, Germany, 2009: 1~5
- 7 Niu Z S. TANGO: traffic-aware network planning and green operation. *IEEE Wireless Communications*, 2011, 18(5): 25~29
- 8 Chen Y, Zhang S Q, Xu S G. Fundamental trade-offs on green wireless networks. *IEEE Communications Magazine*, 2011, 49(6): 30~37
- 9 Pirmez L, Carvalho Jr J C, Delicato F C, *et al.* SUTIL-network selection based on utility function and integer linear programming. *Computer Networks*, 2010, 54(13): 2117~2136
- 10 Rahmati A, Zhong L. Context-for-wireless: context-sensitive energy-efficient wireless data transfer. *Proceedings of the 5th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, San Juan, Puerto Rico, 2007: 165~178
- 11 Bolla R, Bruschi R, Carrega A, *et al.* An analytical model for designing and controlling new-generation green devices. *IEEE Globecom 2010 Workshop on Green Communications*, Miami USA, 2010:1388~1393
- 12 唐涛. 破冰高铁 加速驰骋 中兴通讯高铁覆盖解决方案. *通信世界*, 2011(36): 31~31

[作者简介]



王春新,男,北京国电通网络技术有限公司高级工程师,主要研究方向为电力通信及电力物联网的研究及应用。



李信,女,国网冀北电力有限公司信通分公司工程师,主要研究方向为通信系统设计与运维。

王晓湘,女,北京邮电大学教授,主要研究方向为宽带移动通信与网络融合。

李朝峰,男,北京国电通网络技术有限公司工程师,主要研究方向为电力通信及电力物联网技术的相关应用。

闫磊,男,国网冀北电力有限公司信通分公司工程师,主要研究方向为通信系统设计与运维。

(收稿日期:2013-08-01)