

Research on Adaptive Simultaneous Access Control Mechanism for Massive Electrical Distribution and Metering Services

Xingnan Li, Ying Wang, Yijie Li

Guangdong Power Grid Power Dispatching Control Center, Guangzhou Guangdong
Email: lxn403@163.com, wangying@gddd.csg.cn, liyijie@gddd.csg.cn

Received: Jul. 22nd, 2018; accepted: Aug. 13th, 2018; published: Aug. 20th, 2018

Abstract

Electrical dedicated wireless network is regarded as an effective approach to enable last-mile communication access for electrical distribution automation and smart metering. But simultaneous access for massive terminals tends to result in congestion in random access channels. To solve the issue of concurrent access of a huge number of nodes, this paper proposes an adaptive access control mechanism. The system implements a collision backoff strategy based on the service priority. When the massive services are concurrent, the eNB (Evolved NodeB) counts the congestion data of the random access channel and broadcasts the backoff command, and the low-priority service node selects the backoff policy according to the instruction, thereby reducing the total number of network collisions and improving the access success rate of the high-priority service. Therefore, the adaptive access control mechanism based on service priority can effectively improve the concurrent access performance of massive services.

Keywords

Smart Grid, Dedicated Electrical Wireless Network, Random Access, Long Term Evolution

海量配用电业务自适应接入控制机制研究

李星南, 汪莹, 李溢杰

广东电网电力调度控制中心, 广东 广州
Email: lxn403@163.com, wangying@gddd.csg.cn, liyijie@gddd.csg.cn

收稿日期: 2018年7月22日; 录用日期: 2018年8月13日; 发布日期: 2018年8月20日

摘要

电力无线专网是海量电力配用电业务最后一公里通信接入的有效手段, 然而海量的业务并发接入势必带

来随机接入信道的拥塞。为解决采用TD-LTE技术的电力无线专网海量数据并发接入的冲突问题,本文提出一种自适应接入控制机制,系统基于业务优先级执行冲突退避策略,海量业务并发时,基站(eNB)统计随机接入信道拥塞情况并下发退避指令,低优先级业务节点的根据指令选择退避策略,从而降低网络总体冲突次数,提升高优先级业务的接入成功率。因此,基于业务优先级的自适应接入控制机制可有效改善海量业务并发接入性能。

关键词

智能电网, 电力无线专网, 随机接入, 长期演进

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在国家能源局发布《配电网建设改造计划(2015~2020年)》后,全国配电网改造升级明显加速,对通信网络的需求进一步提升,加快建设电力终端通信接入网,打通“最后一公里”成为电力通信网建设的重中之重,而电力无线专网因其安全可靠、接入灵活的优势,成为支撑电力终端通信接入网建设的重要选择[1] [2]。2017年9月,中国无线电协会电力无线专网产业联盟正式成立,旨在制定、推广电力无线专网标准体系,构建完善的电力无线专网产业生态,促进电力无线专网产业发展。

目前在全国范围内已开展多个电力无线宽带专网的试点工程,主要采用TD-LTE技术体制,工作在1785~1805 MHz频率内5/10 MHz带宽。电力无线专网传输业务包括电力配网自动化、计量自动化(用电信息采集)等,业务特点为节点数量众多,分布广泛且节点传输速率低。

电力配电、用电业务具有周期采集的特性,周期性地频繁采集海量的配网计量数据,意味着海量的业务终端需要并发接入到TD-LTE网络中来,而目前的TD-LTE竞争性随机接入方式仅仅具备64个可供选择的前导序列[4] [5] [6]。因此,海量的并发接入势必带来接入冲突,导致接入成功率下降,接入延时增加,甚至带来数据丢失,对于一些需要保障通信可靠的电力业务是不可接受的。

目前在网的电力系统LTE无线网络设备普遍直接采用3GPP的技术标准,缺少针对电力系统业务特点(固定接入、周期性、大并发等)的定制化修改。2017年国家电网组建无线产业联盟,制定电力LTE无线技术标准,新标准中,核心的LTE业务接入流程机制还是采用3GPP协议规范。针对电力业务的应用特点,目前行业中缺少针对LTE底层协议进行的定制研究及研发。

本文首先分析电力无线专网系统架构,接下来介绍LTE随机接入流程,提出一种基于业务优先级的自适应控制机制,并通过仿真进行验证。

2. 系统模型

2.1. 系统架构

电力无线专网的架构如图1所示。最底层为业务终端层,包括支持语音的集群终端及专用数据业务终端(DTU、TTU、FTU、负控终端、AMI、计量集中器等)。业务终端连接无线接入CPE或者电力通信专用模块,通过无线空口(Uu接口)连接至无线网络层。网络层包括了部署在电力自有物业(变电站、电力行政楼、供电所等)或者电力租用物业(例如电信运营商的铁塔设施)楼面上的TD-LTE专网基站和部署在

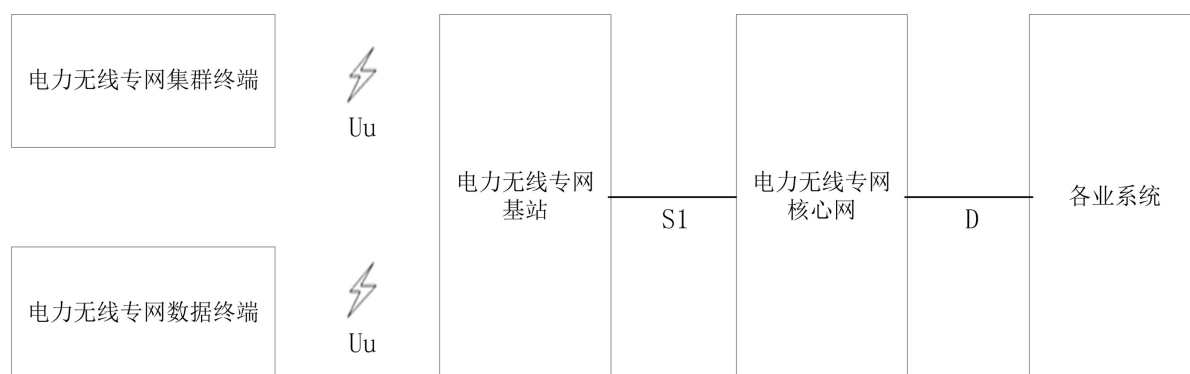


Figure 1. Power wireless private network architecture [3]

图 1. 电力无线专网架构图[3]

地市供电公司的 TD-LTE 核心网设备, 基站数据通过电力专用光纤(或者电力传输网)传送至核心网侧。核心网将所有数据通过电力光纤传输至各个业务服务器。一般来说, 不同类型的业务隶属于电力公司不同的部门管理, 相应配置不同的服务器分别进行数据的管理、维护和分析。

2.2. 电力业务无线接入模式

在智能电网中, 可以通过电力无线宽带专网传输的业务终端有配网自动化终端、计量自动化终端、电动汽车充电桩、新能源接入终端等。不同的电力业务对通信链路都有不同的需求。目前电力无线网络接入的主流业务 - 电力配用电网络业务 - 通信需求如表 1 所示。

电力无线宽带专网目前处于建设的起步阶段, 在相当长的一个时期内, 信号覆盖主要为宏基站的广覆盖, 每个基站覆盖面积较大。通过东莞、珠海等电力 LTE 无线网络的实际测试, 小区覆盖半径一般在 1 Km~1.5 Km 之间, 单个基站覆盖范围较大。根据国家电网 2017 年的统计, 配用电业务分布密度如表 2 所示。通过表 2 可知, 在 A+类区域单个基站覆盖的终端数量超过 500 个, 随着精准负控、充电桩、分布式能源等业务的接入, 终端密度还会进一步提高。

通过表 1&表 2, 我们可以看出, 电力业务无线接入的特点是: 终端种类繁多, 数据单次传输数据量小, 接入特别频繁, 单个基站接入终端数量较大。由于电力配用电业务有定期集中采集的特点, 容易出现单个基站下大量终端同时并发接入的情况, 减少或避免海量数据采集并发接入冲突是电力宽带 LTE 无线专网建设需要重点关注的问题之一。

3. LTE 随机接入流程分析

目前电力无线专网多采用 3GPP 定义的 TD-LTE 无线技术。在 LTE 网络中, 通信终端接入 LTE 网络需要通过随机接入机制。该机制分为两类: 非协同随机接入和协同随机接入, 其中非协同随机接入由空闲状态的业务终端发起, 用于数据传输前的网络接入; 协同随机接入由已经在网络中的业务终端发起, 用于在不同小区之间的切换。本文仅考虑非协同随机接入。

LTE 物理随机接入信道(Physical Random Access Channel, PRACH)定义为用于传输随机接入信号序列的时频资源, 即在时隙和频点上区分该信道。通常来说, 物理随机接入信道的时频资源是周期性的半固定分配。在 LTE 中已经定义了 4 种序列样式。业务终端采用 Zadoff-Chu 序列用于非协同随机接入, 这种序列的特征是较低的峰均功耗比, 不同的序列之间互相关极低(具有非常好的正交特性)。每个小区分配了 64 种 Zadoff-Chu 序列, 一部分分配给用于切换的协同随机接入, 剩下的用于非协同接入[7]。

基站(eNB)在广播信号中发送可以用于非协同接入的序列资源池, 业务终端通过接收广播信号获取该

Table 1. Main business communication needs
表 1. 主要业务通信需求

业务种类	传输带宽	接入延时
配网自动化 - 遥信	1 kbps	2 s
配网自动化 - 遥测	5 kbps	2 s
配网自动化 - 遥控	1 kbps	500 ms
计量自动化	1 kbps	5 s
视频监控类	2 Mbps	500 ms

Table 2. Distribution density of business terminals
表 2. 业务终端分布密度单位: 个/km²

业务	A+	A	B	C	D	E
配电自动化二遥	6.9968	5.4635	3.1197	0.8399	0.0933	0.0083
配电自动化三遥	70.6656	10.3732	1.7205	0.1758	0.0113	0.0003
用电信息采集	461.4897	153.3333	84.3702	21.7640	2.0138	0.1225

资源池，并从该资源池中随机选择一个序列用于本次接入流程。如果两个或者多个业务终端选取了互不相同的序列，则不会出现接入冲突，所有终端都能完成本次接入流程，否则，将会导致接入冲突，采用相关序列的两个或者多个终端中只有一个能完成本次接入，其他接入失败的业务终端将会等待一段时间再次尝试接入，直到接入成功或者尝试接入次数超过限制值。

LTE 随机接入流程分为四个步骤：

步骤一：业务终端接收基站广播发送的系统信息，从系统信息中获取可供选择的业务序列资源池，从该资源池中随机选择一个序列，通过物理随机接入信道(PRACH)发送至基站。

步骤二：基站收到接入请求后，在物理下行共享信道(PDSCH)发送对于该序列的反馈，包括对前导序列解码的确认 ACK 信号、上行信道时间同步调整指令、网络临时标识(RA-RNTI)、退避时间参数。

步骤三：业务终端在物理上行共享信道(由步骤二获取)上发送终端 ID 信息(包括了临时 C-RNTI、调度请求等基本信息)。

步骤四：基站完成接入冲突解决，并在物理下行共享信道反馈至接入成功的业务终端。

整个随机接入流程如图 2 所示。通过上述步骤可以看出，当多个业务终端选择同一个前导序列时，将会在步骤三、步骤四的过程中发生冲突，基站将根据情况随机选择一个业务终端接入，并拒绝其他业务终端接入。在海量终端并发接入的模型下，大量的冲突发生会导致接入效率下降，无法保障网络中对通信可靠性要求高的一些业务需求。

4. 自适应接入控制机制

4.1. 机制触发

在 LTE 随机接入过程中，基站通过监测当前时隙发生冲突的前导序列个数可以实时监测网络中终端的接入冲突情况，因此，通过对发生冲突的前导序列计数进而实施冲突接入控制机制，是一种降低接入冲突提高接入效率的有效且操作简易的手段。

基站根据网络的冲突情况来触发接入控制机制。当发生冲突的前导序列个数的总和大于可使用的前导序列总数的一定比例时，系统触发自适应冲突控制机制，基站把机制触发指令通过广播信道发送至所

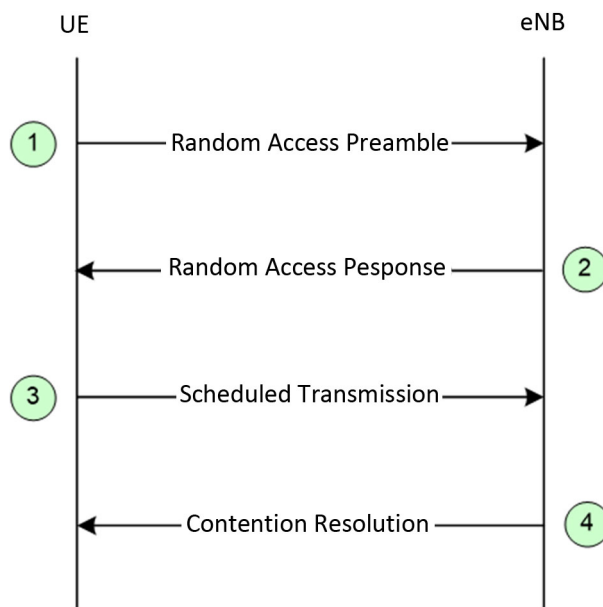


Figure 2. Random access procedure [8]

图 2. 随机接入流程[8]

有业务终端；当冲突计数低于预设比例时，基站关闭该机制，并把关闭机制的指令发送至各个业务终端。在下一节仿真中，设置该比例为 50%。

网络中的终端根据传输的业务类型设置高低不同的优先级。终端收到冲突抑制指令后，根据自身的业务优先级选择适配的退避机制，进而降低整体的接入冲突，避免网络阻塞，保障高优先级的业务正常接入。因此，通过发生冲突的前导序列计数进行接入控制是一种有效且操作简易的手段。在下一节仿真中，可以看到冲突控制的仿真效果。

4.2. 接入控制方法

网络中的终端设备通过广播信息获取当前基站的状态数据及接入控制机制是否触发。如果当前时刻，接入控制机制已经触发，不同优先级的终端会采取两种不同的应对机制：

1) 高优先级终端设备在发生接入冲突时保持原退避方法不变；

2) 低优先级终端设备在发生接入冲突并尝试再次发起接入请求时，需要判断在 0 与 1 之间随机产生的随机数 p 是否小于控制门限值。如果 p 小于控制门限值，则发起本次接入，否则，重启退避机制，放弃本次接入。

在这种接入控制机制中，在基站监测到当前接入信道发生拥塞后，启动接入控制机制，网络中高优先级终端设备由于被赋予了更高的接入优先级别，不受冲突抑制影响，低优先级终端设备需要根据控制门限判断是否退避，降低接入概率，避免了网络拥塞，从而提高了高级别业务终端的接入成功率(图 3)。

5. 仿真分析

仿真采用 MATLAB 和 Simulink 工具，根据 3GPP 随机接入相关协议设计仿真模型并设置仿真参数[9][10]。可用的前导序列有 30 个，低优先级终端和高优先级终端的比例是 1:1。发送冲突后的退避时间为 10，即在 1~10 直接选择一个作为重新接入的时间延时，退避的时间单元是 5 ms。最大重新接入限制为 5，当重新接入次数大于 5 时，宣告本次接入失败，数据丢失，不再尝试重新接入。仿真考虑正常无控制随机接入模式和自适应接入控制模式。仿真的衡量指标有单节点平均重新接入次数、随机接入成功率和平均延时。

根据图 4 和图 5，可以看出在平均重新接入次数和接入成功率两个指标上，基站自适应控制模式下高优先级业务终端的通信质量明显优于无控制的模式。因为在基站自适应控制模式下，冲突发生时基站

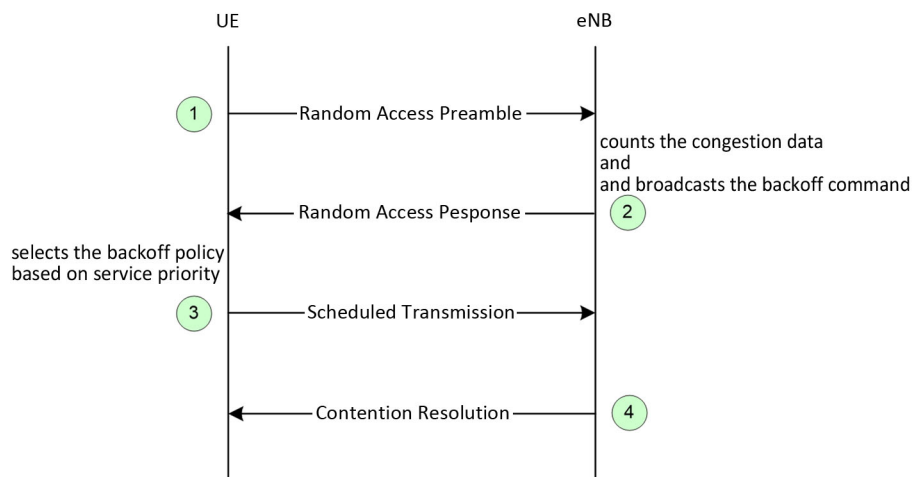


Figure 3. Adaptive access procedure
图 3. 自适应接入流程

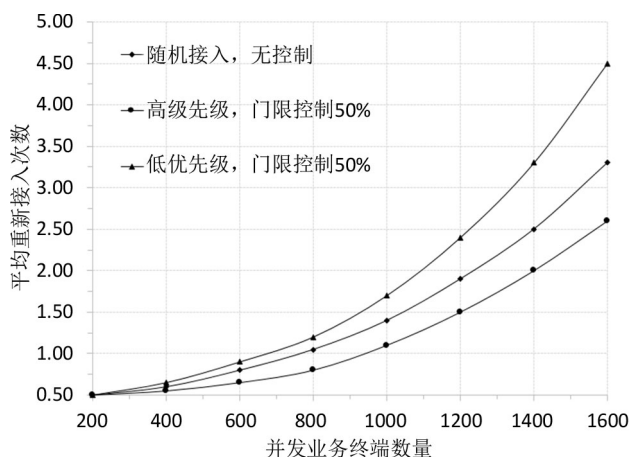


Figure 4. Average re-access times comparison chart
图 4. 平均重新接入次数对比图

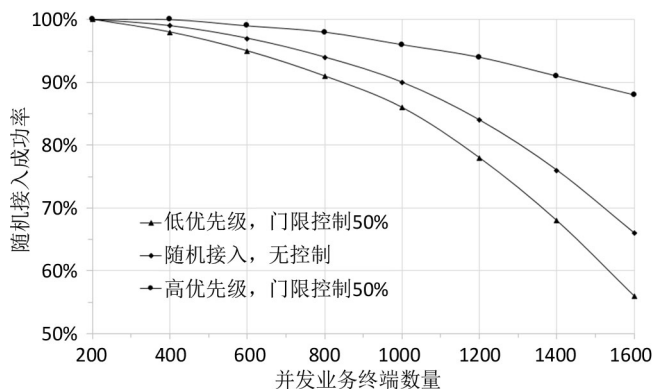


Figure 5. Random access success rate comparison chart
图 5. 随机接入成功率对比图

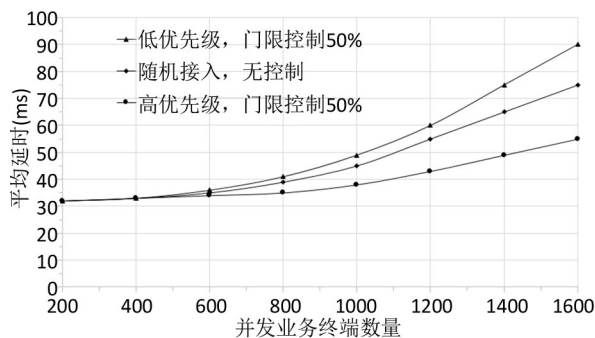


Figure 6. Average delay comparison chart

图 6. 平均延时时对比图

通过广播指令降低了低优先级业务终端的接入频率，从而保证了高优先级终端的接入成功率。通过图 6 可以看出，通过基站的自适应控制，在网络冲突发生时，高优先级业务终端的传输延时参数也有较大改善。

在本模型下，影响终端通信性能的关键指标主要有两个，高优先级终端在网络中的占比及基站自适应控制的冲突门限。高优先级终端占比越低，其发生冲突的概率越低，冲突门限设置的越低，冲突发生时高优先级终端受到的影响越小。

6. 结语

海量业务终端并发接入是目前电力无线专网亟待解决的技术问题之一，本文对 LTE 随机接入流程进行阐述，并提出一种由基站控制的自适应接入控制机制，该机制实现简单、操作性强，在网络大规模发生冲突发生时，可以有效的保障网络中高优先级的业务传输。

致 谢

感谢广东电网无线资源管理系统开发项目的相关参与方，感谢南网总调相关专家对本项目的大力支持。

基金项目

本项目由广东电网有限责任公司科技项目资助(项目编号: GDKJXM20161472)。

参考文献

- [1] 李元九, 林明福, 张宏坡, 等. 电网企业 LTE 无线专网建设若干问题探讨[J]. 电力信息与通信技术, 2017, 15(2): 80-85.
- [2] 李文伟, 陈宝仁, 吴谦, 等. TD-LTE 电力无线宽带专网技术应用研究[J]. 电力系统通信, 2013, 33(11): 82-87.
- [3] 中国南方电网有限责任公司. 南方电网电力无线专网技术规范[S]. Q/CSG1204022-2017, 2017-05-01.
- [4] Deng, T. and Wang, X. (2015) Performance Analysis of a Device-to-Device Communication-Based Random Access Scheme for Machine-Type Communications. *Wireless Personal Communications*, **83**, 1251-1272. <https://doi.org/10.1007/s11277-015-2448-5>
- [5] Rajandekar, A. and Sikdar, B. (2015) A Survey of MAC Layer Issues and Protocols for Machine-to-Machine Communications. *IEEE Internet of Things Journal*, **2**, 175-186. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2015.2394438>
- [6] Dehalwar, V., Kalam, A., Kolhe, M.L., et al. (2016) Review of Machine to Machine Communication in Smart Grid. 2016 *International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*, Chengdu, 19-22 October 2016, 134-139. <https://doi.org/10.1109/ICSGCE.2016.7876040>
- [7] Ali, M.S., Hossain, E. and Kim, D.I. (2017) LTE/LTE-A Random Access for Massive Machine-Type Communications in Smart Cities. *IEEE Communications Magazine*, **55**, 76-83. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600215CM>
- [8] 3GPP TS 36.300 (2017) Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Ra-

dio Access Network (E-UTRAN) Overall Description V14.4.0.

[9] 3GPP TR 37.868 (2011) RAN Improvements for Machine-Type Communications. V. 1.0.0.

[10] 3GPP TR 22.368 (2012) Service Requirements for Machine-Type Communications. V11.4.0.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2161-8763，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：sg@hanspub.org