

# 基于电力无线专网的海量数据并发接入性能分析

郭起霖<sup>1</sup>, 陈宝仁<sup>2</sup>, 张斌<sup>1</sup>

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 中国南方电网有限责任公司, 广州 510620)

**摘要:** LTE 系统随机接入是电力无线专网海量数据并发采集的主要瓶颈。随着配网、计量自动化终端数量的迅速增加, 无线接入延时、阻塞等因素势必影响数据的实时有效传输。介绍了 LTE 随机接入流程, 分析了针对智能电网应用场景下的局限性。建立随机接入仿真平台, 评估随着终端数量增加阻塞率、接入延时、平均重传次数三个主要指标的变化, 得到接入系统的参数配置原则。

**关键词:** 电力无线专网; 智能电网; LTE; 随机接入

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)01-0077-04

## Massive Access Performance Analysis for Electric Dedicated Cellular Networks

GUO Qilin<sup>1</sup>, CHEN Baoren<sup>2</sup>, ZHANG Bin<sup>1</sup>

(1. Guangdong Electric Power Design Institute of Co., Ltd. of China Energy Engineering Group, Guangzhou 510663, China;  
2. China Southern Power Grid Co., Ltd., Guangzhou 510620, China)

**Abstract:** LTE-based random access process becomes the bottleneck for tremendous increase of distribution/metering terminals in smart grid, since the access delay and block probability may degrade the real-time effective data collections. This paper introduces the main process of random access in LTE, then the limitation in smart grid is analyzed. The simulation platform for random access is established to evaluate the performance with the key indicators, such as block probability, access delay, the average number of preamble retransmissions. Finally, the principle for parameter configuration is proposed.

**Key words:** electric dedicated cellular networks; smart grid; LTE (long term evolution); random access

相对于光纤、载波等传统通信方式而言, 电力无线专网是解决海量电力配网、计量自动化业务传输的有效手段<sup>[1]</sup>。电力无线专网采用先进的 TD-LTE(Time Division Long Term Evolution)技术, 即 4G 体制之一, 具有高速率、广覆盖、部署灵活、传输时延低等优势。业界绝大多数主流通信设备商支持、助推 TD-LTE 产业发展, 如中兴、华为、爱立信、大唐、普天、烽火、鼎桥等, 未来的 TDD 技术将有可能统一向 TD-LTE 方向演进, 完成不同技术之间的融合, TD-LTE 的应用将成为后续应用趋势。

国内电力无线专网通常来说采用 1.8 GHz 或者

230 MHz 电力专用频段, 可以有效保证无线传输质量及信息的安全性。南方电网在珠海、广州、深圳、遵义、东莞、贵阳等城市广泛开展电力无线专网的试点工程, 随着业务接入终端的迅速增加, 电力无线专网需要面对由于海量接入带来的阻塞、延时、丢包等问题。本文首先简要介绍 LTE 系统随机接入流程, 然后阐述针对智能电网应用场景的随机接入局限性分析,

### 1 LTE 系统的随机接入流程

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。这类终端种类繁多, 数据传输的特点是: 单次传输数据量小, 接入特别频繁, 接入终端数量巨大。因此, 为了表述简洁, 本文统称这类电力专用终端为 M2M (Machine-to-Machine) 设备。

收稿日期: 2014-10-25

作者简介: 郭起霖(1986), 男, 江西赣州人, 博士, 主要从事智能电网通信技术研究(e-mail) guoqilin@gedi.com.cn.

M2M 设备试图通过电力无线专网上传数据的首要步骤是发起随机接入请求,在与基站达成一致并获得无线资源之后才能进行数据传输。LTE 协议中把随机接入分为两类:(1)竞争接入,所有设备竞争性地接入基站,碰撞不可避免,因此这种方式适用于可以容忍延时的接入请求;(2)非竞争接入,基站预留一部分资源用于必须具有高接入率的场景,比如切换。M2M 设备随机接入方式是竞争接入。

在具体讨论 LTE 系统随机接入之前,有必要介绍下随机接入信道。基站不间断地广播接入信道参数,待接入的 M2M 设备可以从广播信道中获取随机接入信道的频率及时间周期。通常来说,随机接入信道占用 1.08 MHz 频谱,对应于 6 个资源块,这也是最低的 LTE 带宽配置;时域上,随机接入信道是周期性的子帧,LTE 规定了 64 种周期分布,通过广播的系统信息中的“物理层随机接入配置索引”来规定。由于随机接入信道占用上行带宽,因此,有必要根据当前传输负荷情况来配置索引参数,以权衡接入和传输的相互制约。

竞争性的随机接入流程包括了基站与终端的四次信息握手,如图 1 所示。只有四次握手完成,该接入请求才顺利完成。下面对四次握手简单阐述:

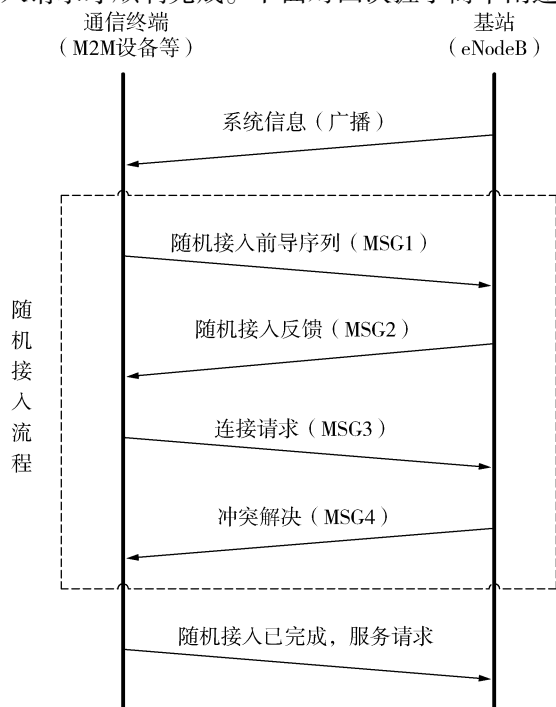


图 1 竞争性随机接入流程图

Fig. 1 Illustration for Contention-based Random Access

1)MSG1:前导序列传输。基站通过广播系统信息告知所有终端随机接入信道参数及可用于竞争接入的前导序列集合。待接入的 M2M 设备确定接入信道之后,在前导序列集合中随机选择一个序列传输。LTE 协议规定了共有 64 种前导序列可供使用,其中预留一部分序列用于非竞争接入。前导序列两两之间是相互正交的,基站可以在上行接收端区分不同的序列接入,因此,多个 M2M 设备在相同的接入信道时隙内,选用不同的前导序列并不存在冲突。根据小区覆盖半径的大小,前导序列的时域长度可以调整(1~3 ms)。3GPP 协议<sup>[2]</sup>规定 M2M 设备在发射 MSG1 之后 3 个子帧(3 ms)时间窗等待基站回复 MSG2,该时间窗参数通过基站广播的系统信息获取,范围一般为 2~10 ms。

2)MSG2:随机接入反馈。基站完成前导序列解码之后,根据序列发射的时隙,计算出网络临时标识(RA-RNTI)。随机接入反馈信息通过物理下行共享信道传输,包含如下数据:

(1)对前导序列解码的确认 ACK 信号。

(2)上行信道时间同步调整指令。

(3)用于 MSG3 传输的上行无线资源分配。

(4)网络临时标识(RA-RNTI),不同的序列及时隙对应不同的 RA-RNTI。

(5)退避时间参数,用于接入失败之后退避时间选择。

在本阶段,两个 M2M 设备选择相同的前导序列在同一时隙发送请求,基站可以根据到达时刻的差异发现冲突,放弃 MSG2 的发送。当这两个设备距离基站距离差异不大时,达到时延差很小,两个信号在基站接收端叠加,无法检测出冲突,将会导致 MSG3 出现冲突。

3)MSG3:连接请求。M2M 设备通过 MSG2 中分配的频资源采用自动混合重传机制发送连接请求。请求信号中包含了每个 M2M 设备的唯一标识符(C-RNTI)。多个设备占用相同信道必然会带来冲突,只有通过多次重传才能完成 MSG3 的正确接收。

4)MSG4:冲突解决。M2M 接收到正确的冲突解决信令标识接入成功,否则,接入失败,退避一段时间后重新发起 MSG1 请求。当接入失败次数到达一定次数(基站广播信令配置该参数)之后,蜂窝网络不可用,并把该信息发送至上层应用。

## 2 随机接入流程的局限性分析

LTE 协议规定的随机接入实际上属于分时隙 ALOHA 类型, 即终端有数据要发送就启动接入请求, 众多的终端同时接入产生冲突而造成帧的破坏, 各个终端根据反馈信令判断是否接入成功, 如果接入失败则可以等待一段随机时长后重发该帧。3GPP 组织已经开展对随机接入局限性的研究<sup>[3-4]</sup>, 系统模型假设随机接入的周期为 5 ms, 即 1 s 内可以启动 200 次接入, 在 64 个前导序列中, 10 个预留非竞争接入, 剩余 54 个用于竞争接入。在这种假设下, 1 s 内可以允许 10 800 个前导序列接入, 对于目前电力 M2M 业务部署情况是完全可以满足的, 但是这个数量是不存在冲突情况下的最大容量。由于前导序列相同带来的冲突及采用的规避延时重传, 实际的接入容量要远远低于最大容量<sup>[5]</sup>。

在电力无线专网的实际场景中, 有很多种情况, 接入性能要受到 LTE 随机接入流程带来的不利影响。比如, 在断电恢复之后, 所有设备起电开始接入到网络中; 计量终端定时(比如以 5 min 为周期)上传用电数据。如果接入终端的数量是已知的, 我们可以预先设定一种最优的排队接入方式, 但是实际情况中, 不确定数量的业务只能通过随机接入流程来完成接入。因此, 在智能电网的特定的应用场景中, 海量的并发接入带来了阻塞、延时、功耗等问题。

3GPP 组织及国内外的研究学者已经充分认识到面向 H2H(Human-to-Human)的随机接入流程对于 M2M 业务接入存在种种局限性。为了提出更合理高效的改进方式, 我们对随机接入流程的评估指标(Key Performance Indicator, 简称 KPI)进行介绍, 主要分为以下四大类:

1) 接入阻塞率, 即终端经过最大可容许的重新接入次数之后, 仍然无法成功接入的概率。

2) 重新接入平均次数, 即终端成功接入需要重传的平均次数。也有一些文献使用前导序列冲突率作为评估指标, 作用是类似的。

3) 平均接入延时, 从发送 MSG1 直到成功接收 MSG4, 完成接入的平均延时。

4) 设备接入功耗, 从发送 MSG1 直到成功接收 MSG4, 需要的功耗。其中包含阻塞的接入情况。

在不同的场景下, M2M 设备的评估性能指标

会不尽相同。即使在相同的场景, 不同业务接入的评估指标要求也是有差异的, 如表 1 所示。

表 1 主要业务通信需求  
Table 1 The Key Service Requirements

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

## 3 海量并发随机接入仿真

根据 LTE 随机接入流程(如图 1 所示), 建立 C++ 仿真平台, 主要仿真参数如表 2 所示。选用阻塞率、平均接入延时和重新接入平均次数作为评估指标, 需要指出的是后面两者是针对成功接入的终端而言的, 所以三个指标需要相互结合起来分析。由于 LTE 随机信道会有多种业务同时占用, 这里分配 1~10 的前导序列用于 M2M 业务传输, 其中 M2M 设备每隔 5 min 并发上传一次数据。考虑到无线信道的随机性, 在本次仿真中假设无线信道的接入率为 90%, 即约 10% 的接入因为信道衰落无法抵达基站, 在 RAR 时间窗发生超时重传。这里选用随机接入信道配置参数为 6, 对应于每 5 ms 出现一次随机接入时隙。

表 2 仿真参数表  
Table 2 Simulation Parameters

类型	数值
可用前导序列	1~10
随机接入信道平均周期	5 ms
RAR 时间窗	5 ms
冲突解决时间窗	48 ms
无线信道接入率	90%
规避时延	10, 20, 40, 80, ..., 1 280 ms
最大前导序列重传次数	3, 5, 8
接入终端接入周期	5 min

由图 2 可知, 最大前导序列重传次数是影响随机接入阻塞率的主要参数, 因为并发海量接入势必造成前 1~3 次接入发送冲突(冲突概率为 40%), 随着规避时延可以在 4~8 次接入避免冲突完成接入。对于最大前导序列重传次数为 8 的情况, 终端

数量的增加对于阻塞率影响甚微。当最大前导序列重传次数为3次,阻塞率过高,不能满足海量并发采集的应用需求。

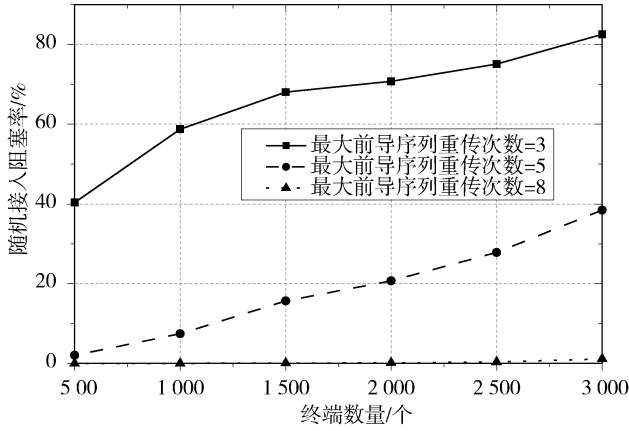


图2 随机接入阻塞率仿真图

Fig. 2 Illustration for Random Access Blocking Rate

图3和图4是接入成功情况下的接入延时和平均接入次数仿真图。可以看出随着数量的增加,这两个指标都是递增的,其中对于最大前导序列重传次数为8,终端数量为3000的情况,接入延时达到400ms,重传次数超过4次。这种递增的趋势可以看出随着终端数量迅猛增加,接入延时会严重影响整个通信系统的传输质量(接入延时和接入率)。

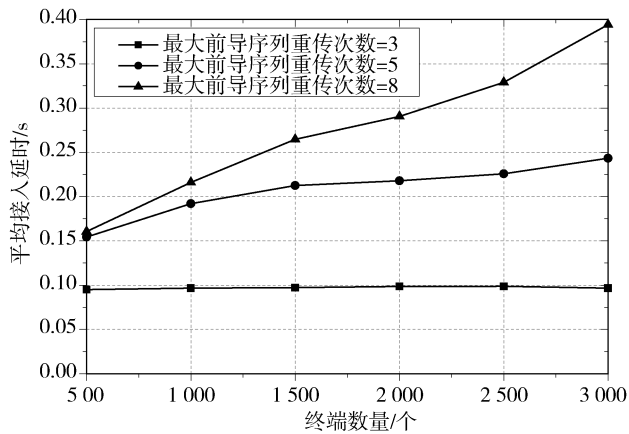


图3 平均接入延时仿真图

Fig. 3 Illustration for Average Access Delay

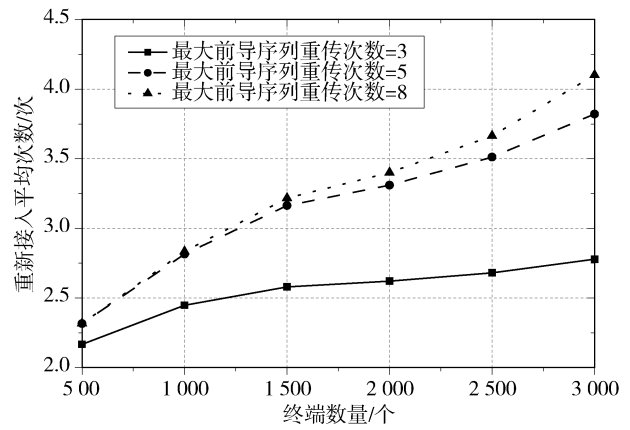


图4 平均接入次数仿真图

Fig. 4 Illustration for Average Number of Preamble Retransmissions

### 4 结论

智能电网中定周期的海量并发数据采集会带来LTE系统接入性能的下降。由仿真结果可知,增大最大前导序列重传次数,可以有效降低接入阻塞率,不过带来的接入延时和接入次数的增加,一方面造成实时性的降低,另一方面不断地重新接入会造成冲突的发生可能性。

#### 参考文献:

- [1] 周建勇,陈宝仁,吴谦. 智能电网电力无线宽带专网建设若干关键问题探讨[J]. 南方电网技术, 2014, 8(1): 46-49. ZHOU Jianyong, CHEN Baoren, WU Qian. Discussion on Several Key Issues of Wireless Broadband Network Construction in Smart Power Grid [J]. Southern Power System Technology, 2014, 8(1): 46-49.
- [2] 3GPP TS 36.321 V9.3.0, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), Medium Access Control (MAC) [S]. 2010.
- [3] 3GPP TR 37.868 V11.0.0, Study on RAN Improvements for Machine-Type Communications [S]. 2011.
- [4] 3GPP TSG RAN WG2 #70bis R2-103742, RACH Overload Solutions [S]. ZTE, Stockholm, Sweden, 2010.
- [5] LAYA A, ALONSO L, ALONSO-Zarate J. Is the Random Access Channel of LTE and LTE-A Suitable for M2M Communications? A Survey of Alternatives[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2014, 16(1): 4-16.

(责任编辑 沈明芳)

## 广告目次

中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司 .....	封二
GEDI 学院 .....	封三