



电力无线网络统计复用业务信道接入控制改进算法

胡冉^{1,2}, 邓科^{2*}

(1. 深圳供电局有限公司 广东 深圳 518046; 2. 电子科技大学航空航天学院 成都 611731)

【摘要】基于统计复用方式的无线业务信道接入控制算法对于提高电力无线网络容量、链路利用率以及系统稳定等方面至关重要。针对现有迭代业务接入控制算法采用一次判别,可能造成已被系统接纳的部分业务信道不足的问题,提出了通过设置后缓存方式,在静默期多次判别的改进方案,基于流模型对该改进算法进行了理论分析和仿真。仿真结果表明,改进后的算法明显降低了原算法在多业务同时突发时的数据丢失率。

关键词 信道接入控制; 电力; 统计复用业务; 无线网络

中图分类号 TN915 文献标志码 A doi:10.12178/1001-0548.2018106

An Improved Algorithm for Channel Access Control of Statistical Multiplexing Traffic in Power Wireless Communication Networks

HU Ran^{1,2} and DENG Ke^{2*}

(1. Shenzhen Power Supply Bureau Co., Ltd, Shenzhen Guangdong 518046;

2. School of Aeronautics & Astronautics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 611731)

Abstract Wireless traffic channel access control algorithm based on statistical multiplexing is very important for improving the capacity of wireless communication network, link utilization and system stability. According to the one-time-discriminate used on existing iteration traffic access control algorithm, which may cause the shortage of the traffic channel been accepted by system acceptance, the improved scheme been analyzed and simulated by flow model is put forward by repeatedly discrimination in silent period with setting the cache. The simulation results show that the improved algorithm obviously reduces the loss probability of data caused by multi-service simultaneous burst.

Key words channel access control; electric power; statistical multiplexing; wireless communication

智能电网是电力、信息、自动化深度融合的新型电网,特点是电力与信息的双向互动,并由此建立起高度自动化的电能交换网络^[1-2]。电力系统设备种类繁多、分布广泛,系统参数随机、时变、流量不均衡,电网拓扑结构也动态变化,从而造成电力系统预测和调度困难^[3-4]。我国当前电力无线网络技术主要由 230 M 电台、GPRS、Mobitex 和 McWiLL 等组成,电力系统业务类型差异较大,并且 QoS 要求不尽相同,因此业务通信往往采用统计复用的方式提高通信链路利用率,同时降低通信设备开销^[5]。

因为业务采用统计复用,对于突发业务,若按照业务的峰值速率分配信道,无线链路利用率过低,系统通信容量不足;若按照业务的平均速率分

配信道,各业务突发强度、突发时长各不相同,易造成过多业务占用信道冲突,系统吞吐量大幅下降,大量数据丢失的现象^[6-7]。因此,基于统计复用的业务无线信道接入控制算法是业务信道控制的关键。

在业务信道接入的众多统计带宽接入控制算法^[8-11]中,等效带宽接入法和迭代业务接入法是近年来研究较多的两类算法。文献 [10] 提出并分析了等效带宽接入控制算法。文献 [11] 研究分析多业务等效带宽接入控制算法,并给出了简化算法。文献 [10-11] 研究表明当业务数比较多或是平均突发强度较大时,简化算法计算的等效带宽精确度较低,仅适用于业务数量较少或者是平均突发强度较小的场合。

文献 [11] 提出了一种迭代业务接入控制算

收稿日期: 2018-05-02; 修回日期: 2018-07-02

作者简介: 胡冉(1981-),男,高级工程师,主要从事配电网通信、配电网资产管理等方面的研究。

通信作者: 邓科, E-mail: dnke@uestc.edu.cn

法。通过计算新业务的需求概率与系统预先设定的数据丢失率进行判别,完成业务信道的接入控制。新业务进入系统后,突发期更新系数,静默期也需更新该系数。

迭代业务接入控制算法在业务突发期分配资源,而静默期释放资源以供别的业务传输。这种资源分配方式尤为适合突发性较强的业务。算法所需参数种类较少、运算复杂度较低、计算实时性较高。文献 [9-11] 分析了该算法在无线链路资源利用率、降低统计复用业务的竞争等方面优于等效带宽接入控制算法和非统计带宽接入控制算法。同时,文献 [10-11] 也指出,由于该算法仅计算需求概率,因此当已被系统接受的业务在突发期申请信道时,可能会被其他业务占用,从而导致很高的数据丢失率。本文立足于迭代业务接入控制算法,寻求一种既能保持原算法的高无线链路利用率、又能降低数据丢失率的电力业务无线信道接入控制优化算法。

1 多业务突发的迭代接入算法性能

首先对以下分析中涉及到的一些概念进行介绍,以方便数学分析。

业务需求概率: 文献 [11] 分析了迭代接入控制算法。该算法将每个呼叫认为是两状态的马尔可夫模型,一个状态是信源处于突发状态并且以峰值速率传送信息,另一个状态信源处于静默状态并且不发出任何信息。将每个呼叫业务处于突发时期的所需信道资源数量的概率定义为需求概率,那么,新呼叫是否被系统接纳主要根据其需求概率是否超过系统允许的数据丢失率上限 ε 进行接入控制:

$$C_0 + C_1 + \dots + C_L \geq 1 - \varepsilon \quad (1)$$

业务拒绝概率: 对于一个已被系统接受的呼叫来说,当它处于突发状态时,系统没有足够的信道资源可供其使用的概率,如式 (2) 所示:

$$P[(C - c_i) > (N - n_i)] > \frac{1}{p_i} P[C > N] \quad (2)$$

式中, C 为信道总容量; c_i 为 i 个呼叫占用信道带宽; N 为呼叫总数占用的总带宽; n_i 为呼叫的业务处于突发状态时占用的带宽; p_i 为 i 个呼叫业务处于突发状态的概率。

业务竞争概率: 将拒绝概率的上限 $\frac{1}{p_i} P[(C - c_i) > (L - B_i)]$ 称为竞争概率。 L 为系统最大接受的呼叫总数所占用的带宽, B_i 为处于突发状态业务占用的总信道带宽。

业务强度: 指多业务同时处于突发状态占用的

信道资源占总信道资源之比,为 $\rho = N\alpha / C(1 + \alpha)$, 其中, α 为呼叫处于静默期的时间长度。

原有的迭代业务接入控制算法计算出需求概率后,与系统设定的数据丢失率对新申请呼叫业务接入进行判别。在多呼叫业务同时突发时,一次判别可能出现信道资源不足以同时分配给系统已接纳业务的现象,数据丢失率、数据吞吐率以及业务数据接入时延等性能均存在偏差。例如,两个电力业务同时申请信道,每个业务都希望在突发期占用所申请的全部信道带宽。假设第一个业务的突发概率为 0.8,第二个业务的突发概率为 0.01,那么需求概率为 0.008。如果系统剩余信道带宽可以同时满足这两个业务申请信道带宽,则接受这两个业务申请,此时根据需求概率,可以将接受门限设定为 $\varepsilon = 0.01$ 。当第二个业务处于突发状态时,会发现它申请的信道有 80% 的时间都被第一个业务所占用,只有 20% 的时间可以被第二个业务占用。如果第二个业务突发期处于大部分时间无信道可用的时期,将会造成第二个业务数据大量丢失的现象。

对式 (2) 而言,当 p_i 较大,竞争概率和需求概率相差不是很大。当 p_i 较小时,需求概率和竞争概率相差则比较大,此时就会出现即使被系统接纳的业务也有可能无信道可分配而造成数据丢失的现象。

2 迭代业务接入控制算法改进及分析

对于迭代业务接入控制算法采用一次判别,可能造成已被系统接纳的部分业务无信道可用现象。针对这个问题,本文提出通过设置后缓存、并在静默期进行多次判别的方法,来改善一次判别的不足之处。该算法的方案如图 1 所示,在系统无线信道接入处,设置各业务当前状态信息表,记录业务的突发期(如以太网帧的帧头和帧尾)、静默期等信息。

在每个接入节点,设置有业务状态表,表中记录了每个呼叫的当前状态。其中 S_i 记录一个突发过程中,该呼叫业务处于突发状态还是静默状态。在一些数据帧上标识“突发开始”,一些标示“突发结束”。这样系统就可以辨别出已被系统接纳的业务什么时候处于突发状态,什么时候处于静默状态。如果某个已被系统接纳的信源处于突发期,其申请的带宽资源小于当前网络系统可用带宽时,该信源产生的业务数据帧不需经过缓存,可以直接送入网络;而当信源处于突发期时,其申请的带宽大于当前网络可用带宽资源时,此信源产生的数据帧则需进入缓存以避免数据的丢失。另外,可以看到如果将改进方案中的缓存设为 0,改进方案则回退到原方案。

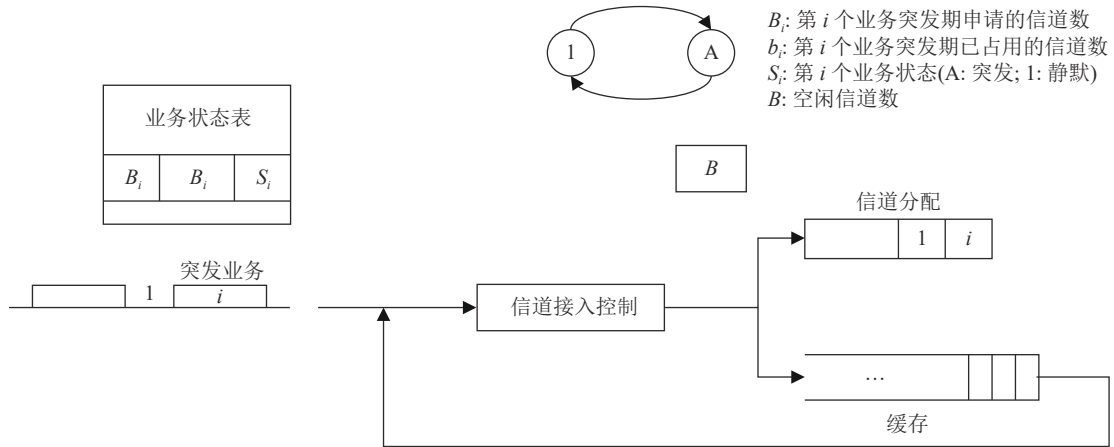


图 1 迭代业务接入控制算法改进方案

对于此迭代业务接入控制算法改进方案, 采用 ON/OFF 流模型^[12]进行分析。该模型有别于经典排队论, 将原本离散化的业务达到、突发长度等随机过程进行了连续化, 物理意义明确。

设有 N 个呼叫业务独立同分布, 每个呼叫业务只处于静默状态或突发状态两种状态, 静默时长和突发时长均满足指数分布。链路容量设为 $C' = L \times e$, 业务在突发状态期间以 $T \times e$ 码速率生成数据。在系统带宽满足呼叫业务所要求的带宽时, 缓冲器内的业务数据输出, 并由系统进行信道分配。无线链路可用信道带宽, 即缓存输出的信息速率为 $C = C' - rT$, 式中, r 为 N 个呼叫业务中有 r 个呼叫业务处于突发状态, 且这 r 个呼叫业务所申请的带宽之和小于当前链路的总带宽, 也就是被分配带宽的呼叫业务数。于是, $L - rT \geq 0$ 成立, 即 $r \leq L/T$, 记 $r_0 = L/T$ 。

设突发期平均时长为 1 个时间单位, 则静默期平均时长为 $1/\alpha$ 。信息单位取为一个业务在突发状态时产生的数据数。一个业务在突发状态内每个时间单位的到达率为一个信息单位。当 s 个业务处于突发状态时, 缓冲器中的业务到达率为 $s - r$, 缓冲器的变化率为 $s - r - C$ 。由文献 [12] 可知, 稳定条件为 $\rho = N\alpha/C(1 + \alpha) < 1$, 令 $\rho = N\alpha/C(1 + \alpha)$, 称其

为业务强度。

若在时刻 t , 处于突发状态且没有足够带宽可分配的呼叫业务数为 i 。在 Δt 内一个业务由静默状态转为突发状态概率为 $(n - i)\alpha\Delta t$, 由突发状态转移至静默状态的概率为 $i\Delta t$, 状态不变的概率为 $o(\Delta t^2)$ 。由此可得在 Δt 内处于突发状态的呼叫业务数的概率为 $1 - [(n - i)\alpha + i]\Delta t + o(\Delta t^2)$ 。

令 $P_i(t, b) (0 \leq i \leq N, t \geq 0, b \geq 0)$ 是在时刻 t 有 i 个未被分配带宽的信源处于突发状态, 且缓冲器中的消息数不超过 b 的概率, 则:

$$P_i(t + \Delta t, b) = [N - (i - 1)a\Delta t P_{i-1}(t, b) + (i + 1)\Delta t P_{i+1}(t, b) + (1 - [(N - i)a + i]\Delta t) P_i(t, b - (i - C)\Delta t) + o(\Delta t^2)] \quad (3)$$

由此, 可以得出有 i 个未被分配带宽的信源处于突发状态, 且缓冲器中的消息数不超过 b 的稳定概率, 即:

$$F_i(b) = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t, b) \quad (4)$$

则:

$$D \frac{d}{db} F(b) = M F(b) (b \geq 0) \quad (5)$$

其中, $D = \text{diag}[-C, 1 - C, 2 - C, \dots, N - C]$

$$M = \begin{bmatrix} -Na & 1 & 0 & 0 & \dots & \dots \\ Na & -[(N-1)a+1] & 2 & 0 & \dots & \dots \\ 0 & (N-1)a & -[(N-2)a+2] & 3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & 2a & -[a+(N-1)] & N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & a & -N \end{bmatrix}$$

$$F(b) = [F_0(b), F_1(b), \dots, F_N(b)] \quad (6)$$

由此, 可以得出缓存器中消息数不超过 b 的稳定概率以及溢出概率:

$$F(b) = F(\infty) + \sum_{i=0}^{N-[C]-1} e^{z_i b} c_i u_i \quad (7)$$

$$G(b) = - \sum_{i=0}^{N-[C]-1} e^{z_i b} c_i (\mathbf{E}^T \mathbf{u}_i) \quad (8)$$

式中, $F_i(\infty) = C_N^i \left(\frac{1}{1+\frac{1}{a}} \right)^i \left(\frac{1}{1+a} \right)^{N-i}$; $c_j = -\left(\frac{a}{1+a} \right)^N \prod_{i=0, i \neq j}^{N-[C]-1} \frac{z_i}{z_i - z_j}$; ($0 \leq j \leq N - [C] - 1$); z_i 为矩阵 $\mathbf{D}^{-1} \mathbf{M}$ 的特征值; \mathbf{u}_i 为对应的特征向量。

可以根据 $G(b)$ 来评估该改进算法的数据丢失率。 $G(b)$ 由 $\mathbf{D}^{-1} \mathbf{M}$ 的最大负特征值决定, 故:

$$G(b) \approx \rho^N \left\{ \prod_{i=1}^{N-[C]-1} \frac{z_i}{z_i + z_0} \right\} e^{-z_0 b} \quad (9)$$

式中, ρ 为业务强度。

可以根据 $F(b)$ 来分析该改进算法的时延性能。当系统稳态时, 缓存中有 i 个数据处于突发状态时, 数据量不超 b 的概率为 $F(b) = [F_0(b), F_1(b), \dots, F_N(b)]$, 缓存中数据量为 b 的概率是 $P(b) = F(b) - F(b-1)$ 。在一个时间单位内, 当 s 个数据处于突发态时, 缓存中的数据到达率为 $s - r_0$ 。根据 little 定理, 可得到数据的平均时延: $E\{T\} = E[b]/(s - r_0)$ 。

对于改进算法的吞吐率, 当处于突发状态的呼叫业务数 (即信源数) $s < r_0$ 时, 信源发送的数据直接传输出去, 此时吞吐率为 100%; 当处于突发状态的信源数 $s > r_0$ 时, 超出 r_0 的信源产生的数据则进入缓存等待, 直到有足够的带宽。因此分析吞吐率时, 本文关注的是信源进入缓存时的情况。

设在一个时间单位内, r_0 个处于突发状态的信源中有 k 个结束发送数据, 状态由突发转为静默, 这时缓存中的数据可以被分配资源, 发送出去。如果 $k < (s - r_0)$, 那么缓存中的数据可以分配到 kT 个信道; 如果 $k > (s - r_0)$, 则缓存中的所有数据都可以分配到它们需要的信道带宽。本文定义吞吐率为单位时间内输出的数据量与送入的数据量之比。于是有:

$$TP = \begin{cases} r_0/s & k < s - r_0 \\ [s - k]/s & k \geq s - r_0 \end{cases} \quad (10)$$

3 改进方案仿真与分析

通过上面的分析, 本文对改进方案的吞吐率、数据丢失率、时延等几个重要参数进行了 Matlab 仿真。图 2 是当 $k=3$ 时, 信源平均申请的信道个数与吞吐率的关系曲线。

由图 2 可知, 当呼叫平均申请的信道数在 0~10 之间时, 吞吐率下降, 这是由于当前网络的

可用带宽不足以分配给已被系统接受的所有呼叫, 所以一部分呼叫产生的数据只能进入缓存中等待。

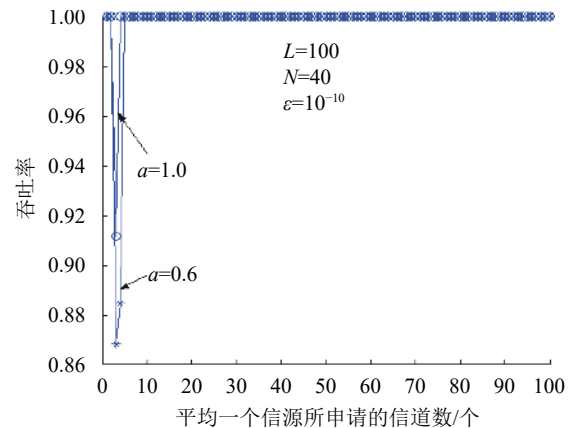


图 2 信源平均申请的信道数与吞吐率的关系曲线

随着呼叫平均申请的信道个数的增加, 由图 2 可以看到吞吐率回升, 这是由于呼叫平均申请的信道个数增加, 系统拒绝了一部分呼叫, 这样进入缓存中的数据减少, 吞吐率随之上升。同时, 随着 α 的增大, 即信源的突发概率增大, 吞吐率也随之增大。当一个时间单位内的信源从突发状态转入到静默状态的个数增多, 吞吐率随之降低。

借助 ON/OFF 流模型进行理论分析, 得到多业务突发强度与缓存容量的数学关系式以及多业务同时突发, 业务数据的时延表达式。图 3 表示了突发时长 $\alpha = 0.4$, 信道容量 $C = 16.666$, 突发业务数 N 分别为 20、25、30、40 和 50 时, 缓存大小与数据丢失率的关系曲线, 图中 P 表示数据丢失概率。

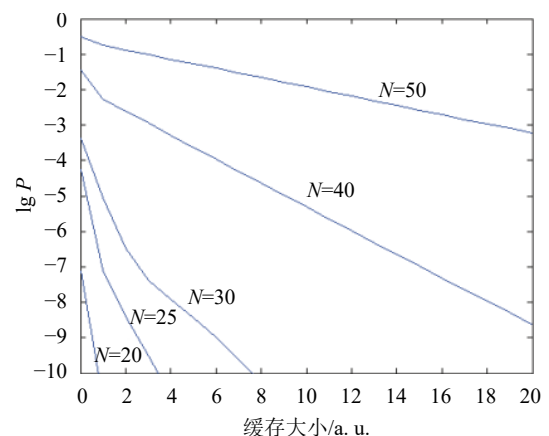


图 3 缓存大小与数据丢失率的关系曲线

图 4 则表示了同样突发时长, 信道容量 $C = 33.333$, 突发业务数 N 分别为 50、60、70 和 100 时, 缓存大小与数据丢失率的关系曲线。

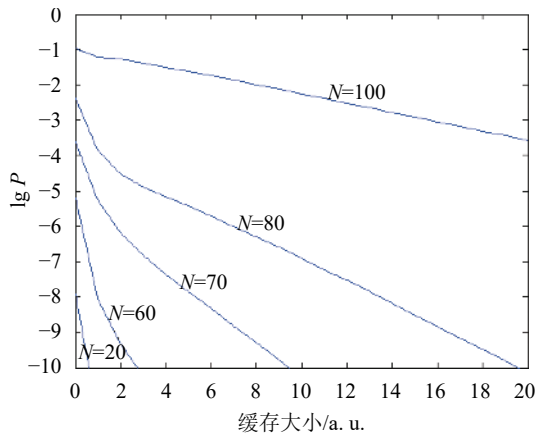


图 4 缓存大小与数据丢失率的关系曲线

由图 3 和图 4 可以看出, 随着同时突发业务数的增加, 缓存大小少量增长对数据丢失率影响明显。同时, 相对于未改进算法, 即缓存大小设为 0 时, 随着突发业务数量 N 的增加, 改进算法数据丢失率明显降低。

迭代业务控制接入算法改进方案所需最小缓存容量与系统设定数据丢失率、业务强度等因素相关。图 5 和图 6 是当数据丢失率为 10^{-8} , α 分别为 0.1 和 0.2 时, 业务强度与所需缓存的关系曲线。

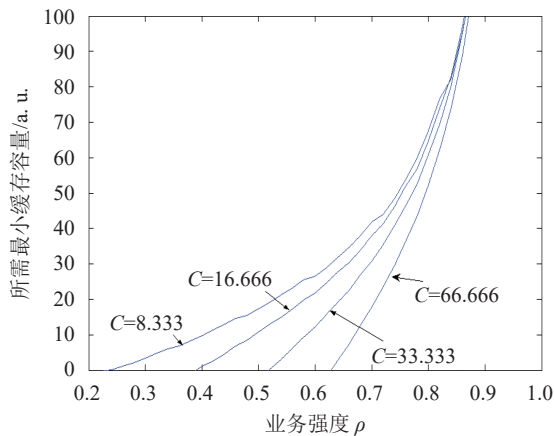


图 5 业务强度与所需最小缓存容量的关系曲线

图 5 和图 6 表明, 对于相同的业务强度来说, α 值越大, 不同的业务数量所需的缓存容量上升越快。业务的突发期越长, 系统所需缓存的容量上升越明显。

图 7 是仿真得到的业务数 $N = 21$, 突发时长 $\alpha = 3$, 即静默期为 0.33 时, 业务进入缓存个数与时延的关系曲线。

由于业务的突发概率等于突发平均时长与一个突发/静默周期的平均时长之比, 即 $\alpha/(1+\alpha)$ 。 i 个业务突发状态的稳定概率, 如式 (11) 所示。

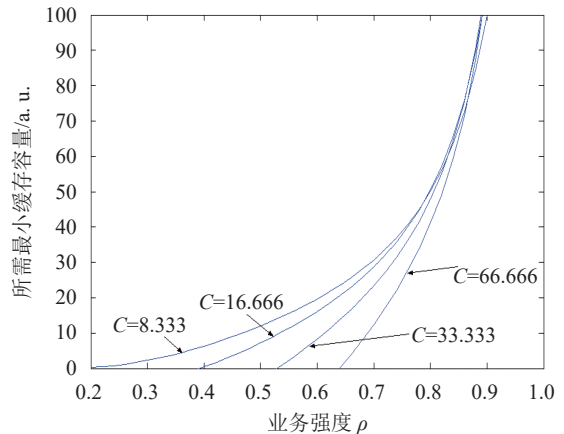


图 6 业务强度与所需最小缓存容量的关系曲线

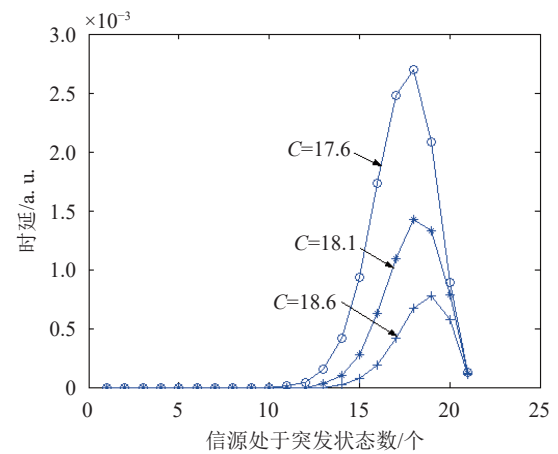


图 7 突发状态缓存的业务数与时延的关系曲线

$$F_i(\infty) = C_N^i \left(\frac{1}{1+\frac{1}{\alpha}} \right)^i \left(\frac{1}{1+\alpha} \right)^{N-i} \quad (11)$$

从图 7 可知, 当处于突发状态的业务数量为 18 时, 为保证业务突发状态的稳定概率, 所需的缓存最大, 时延达到峰值, 约 2.8×10^{-3} 个时间单位。

4 结束语

为避免电力无线通信网络统计复用迭代业务接入控制算法可能出现过高数据丢失率的问题, 本文提出了基于后缓存多次判别的改进算法, 并对改进方案进行了性能分析和 MATLAB 仿真。仿真结果表明, 改进后的迭代业务接入控制算法, 在突发业务信源较多的情况下可以明显地降低数据丢失率, 具有理论可行性。在实际应用中, 针对不同类型业务呼叫采用不同的判决门限来达到各自的性能要求。比如, 对实时性要求较高的业务, 可以考虑判决门限提高, 降低由于网络带宽不足而进入后缓存的数据量; 对于实时性要求不高的业务, 可以考虑降低判决门限使尽可能多的业务进入系统。

参 考 文 献

- [1] 余贻鑫, 刘艳丽. 智能电网的挑战性问题[J]. *电力系统自动化*, 2015, 39(2): 1-5.
YU Yi-xin, LIU Yan-li. Challenging issues of smart grid[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2015, 39(2): 1-5.
- [2] 徐焜耀, 徐鑫, 侯兴哲, 等. 构建新一代智能配用电通信网建议[J]. *电力系统自动化*, 2013, 37(10): 1-5.
XU Kun-yao, XU Xin, HOU Xing-zhe, et al. Suggestions on next generation communication network for smart distribution and consumption network[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2013, 37(10): 1-5.
- [3] 何春. 电力无线通信网接入控制研究 [D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
HE Chun. Research of power wireless communication access control[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [4] 刘雪艳, 张强, 李战明, 等. 面向智能电网通信系统的数据聚合和访问控制方法 [J]. *电力系统自动化*, 2016, 40(14): 135-144.
LIU Xue-yan, ZHANG Qiang, LI Zhan-ming, et al. Data aggregation and access control method for communication system of smart grid[J]. *Automation of Electric Power Systems*, 2016, 40(14): 135-144.
- [5] 曹军威, 万宇鑫, 涂国煜, 等. 智能电网信息系统体系结构研究[J]. *计算机学报*, 2013, 36(1): 143-167.
CAO Jun-wei, WAN Yu-xin, TU Guo-yu, et al. Information system architecture for smart grids[J]. *Chinese Journal of Computers*, 2013, 36(1): 143-167.
- [6] ZABALLOS A, VALLTJO A, SELGA J M. Heterogeneous communication architecture for the smart grid[J]. *IEEE Network*, 2011, 25(5): 30-37.
- [7] GAO J, XIAO Y, LIU J, et al. A survey of communication/networking in smart grids[J]. *Future Generation Computer Systems*, 2011, 28(2): 391-404.
- [8] RAMAZANALI H, JONSSON M, VINEL A V, et al. Multichannel admission control for military training[C]// IEEE 18th International Symposium on Real-Time Distributed Computing. New Zealand: IEEE, 2015: 150-157.
- [9] YU X B, NAVARATNAM P, MONESSNER K, et al. Distributed resource reservation in hybrid MAC with admission control for wireless mesh networks[J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, 64(12): 5891-5903.
- [10] XU L, WANG P, LI Q M, et al. Call admission control with inter-network cooperation for cognitive heterogeneous networks[J]. *IEEE Transactions On Wireless Communications*, 2017, 16(3): 1963-1973.
- [11] IERA A, MOLINARO A. On the performance of CSC algorithms in multimedia geostationary satellite networks[C]//Wireless Communications and Networking Conference. [S.l.]: IEEE, 2002: 837-843.
- [12] ANICK D, MITRA D, SONDHI M M. Stochastic theory of a data-handling system with multiple sources[J]. *Bell System Technical Journal*, 1982, 61(8): 1871-1894.

编辑 刘飞阳