

# 基于退避预测的 ACB 动态接入新方案

孙 君, 万 聪, 闵宝成, 杨赛赛

(南京邮电大学江苏省无线通信重点实验室, 江苏南京 210003)

**摘 要:** 在 LTE-A 网络的过载场景中, 机器类通信 (Machine Type Communication, MTC) 设备的突发性接入会导致网络发生严重的拥塞, 甚至死锁, 造成网络的接入效率低下. 在可用前导资源有限的前提下, 根据实时负载数控制发起接入的设备数可以有效降低前导的碰撞概率, 但是控制方法尚不明确. 为此, 本文提出了一种接入类别限制 (Access Class Barring, ACB) 的动态接入机制来优化海量 MTC 的随机接入性能. 建立了一种基于退避预测的估计模型, 该模型根据重传的设备数和状态转移过程估计出了实时活跃的设备数. 结合估计模型和 ACB 参数调整可以最优化实时成功接入的设备数, 能够有效地提高设备的接入成功率. 本文在不同负载强度场景下, 将提出的 ACB 动态接入机制和现有的动态 ACB 机制的接入性能进行了比较. 仿真结果证明, 本文提出的 ACB 动态接入机制的接入成功率为 100%. 而且, 与现有的 ACB 动态接入机制相比, 所提的新方案的平均接入时延更低.

**关键词:** 海量机器类通信; LTE-A; 接入类别限制; 负载估计; 接入成功率; 平均接入时延

**中图分类号:** TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2019)12-2544-06

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2019.12.012

## A Novel Dynamic ACB Accessing Scheme Based on Back-Off Prediction

SUN Jun, WAN Cong, MIN Bao-cheng, YANG Sai-sai

(Jiangsu Key Laboratory of Wireless Communications, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, Jiangsu210003, China)

**Abstract:** In the overload scenario of the LTE-A network, the bursty access of the machine type communication (MTC) device may cause serious congestion or even deadlock in the network, resulting in low network access efficiency. Under the premise that available preambles are limited, controlling the number of devices that initiate the access according to the real-time load can effectively reduce the collision probability of the preamble, but the control method is not clear. To do this, this paper proposes a dynamic access class barring (ACB) mechanism to optimize the random access performance of the massive MTC. An estimation model based on back-off prediction is established. The model estimates the number of real-time active devices based on the number of retransmitted devices and the state transition process. Moreover, combined with the adjustment of the ACB parameter, the number of successfully accessed devices in real time can be optimized, and the access success rate of the device is effectively improved. The performance of the proposed dynamic ACB scheme is compared with that of the existing dynamic ACB schemes under different traffic degrees. Simulation results prove that the access success probability of the proposed dynamic ACB scheme is 100%. Simultaneously, the proposed novel scheme can get lower average access delay comparing with the existing dynamic ACB schemes.

**Key words:** massive machine type communication (mMTC); LTE-A; access class barring (ACB); load estimation; access success probability; average access delay

## 1 引言

随着通信技术的快速发展, 通信业务已经从传统的人与人之间的通信发展到物与物之间的通信, 这种

通信方式也被称为物联网 (Internet of Things, IoT) 通信. 预计到 2020 年, 全球移动数据流量将增长 1000 倍, 这无疑给传统的蜂窝网络带来了巨大的挑战, 第五代移动通信 (5G) 网络已成为全球研发焦点<sup>[1]</sup>. 作为 5G 的三

大应用场景之一<sup>[2]</sup>,mMTC 应用场景中将有数以千亿的设备接入网络<sup>[3]</sup>.当海量 MTC 设备同时发起接入请求时,大量设备会由于前导碰撞而被阻塞,进而导致恶性循环<sup>[4]</sup>.相比于 H2H 的高速移动宽带数据业务,MTC 具有接入数量大、小数据包、固定位置、短时间内突发大量接入等特征<sup>[2]</sup>.当海量 MTC 设备发起接入请求时,如果不进行拥塞控制,现有的 LTE 网络无法支持如此庞大的接入请求<sup>[5]</sup>.

针对大规模机器类通信中出现的问题,3GPP<sup>[2]</sup>中提出了六种主要的处理方法.其中基于 ACB 机制的随机接入通过控制同时发起接入的设备数能够有效解决大规模机器类通信的前导碰撞问题.然而调整 ACB 参数的方法未知.因此,动态调整 ACB 参数是当前研究海量机器类接入的一个重要方向.文献[7]根据启发式算法估计每个随机接入时隙发起接入尝试的 MTCD 数量,进而通过最优化吞吐量来动态改变 ACB 参数.文献[8]和[9]中,为了获得更好的接入性能,假设基站已知每个随机接入时隙活跃的 MTC 设备数,根据已知的 MTC 设备数建立关于吞吐量的最优化问题来求 ACB 参数的最优解.

综上,当海量机器类设备发起接入时,基于 ACB 机制的随机接入通过限制接入和碰撞退避的方式有效控制发起接入的 MTC 设备数<sup>[11,12]</sup>,动态 ACB 机制对接入参数的调整依赖于对活跃 MTC 设备数量的估计,但是现有的估计方法只是简单地估计,所以吞吐量性能未能达到最优,系统性能仍存在提升空间.

本文的主要贡献为提出了一种新的 ACB 动态接入机制,该机制分为基于退避预测的估计模型和 ACB 参数的动态调整两部分.所提方案进一步降低了碰撞概率和平均接入时延,提高了系统的接入成功率.

## 2 基于退避预测的估计模型

针对海量机器类通信的接入问题,现有的基于 ACB 机制的随机接入文献都依赖于对活跃 MTCD 数量的估计,性能未能达到最优.针对这个问题,本文提出了基于退避预测的估计模型,该模型主要分为 MTCD 数量估计和状态转移过程.

### 2.1 提出的 ACB 机制的随机接入模型

本文提出的 ACB 动态接入机制主要在于对通信流量的估计,整个基于 ACB 机制的随机接入过程是一个包含反馈信息的模型,基于退避预测的随机接入模型图如图 1 所示.

假设小区中总的 MTC 设备数为  $n$ ,在第  $j$  个随机接入时隙中,进行 ACB 检测的 MTCD 数  $M_j$  不仅包含本时隙新到达的设备数  $A_j$ ,还包括在本时隙重新进行 ACB 检测的 MTCD 数  $M_{\text{barring}}$ .同时,发送前导的 MTCD 分为

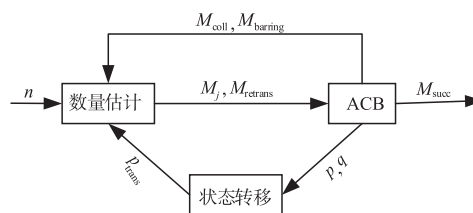


图1 基于退避预测的估计模型

在本时隙通过 ACB 检测的 MTCD 和预测出的退避到本时隙重传前导的 MTCDs 数  $M_{\text{retrans}}$  (在之前时隙发生前导碰撞并在本时隙重传的设备数  $M_{\text{coll}}$ )<sup>[13]</sup>.基于 ACB 机制的随机接入根据预测出的尝试接入的设备数  $M_j$  和重传前导的设备数  $M_{\text{retrans}}$  可得到实时最优的 ACB 参数  $q_j$ 、成功接入的设备数  $M_{\text{succ}}$  和前导成功传输的概率  $p_j$ .状态转移过程则可以根据实时的  $q_j$  和  $p_j$  计算出在本时隙碰撞的 MTCDs 能够进行重传的概率  $P_{\text{trans}}$ .

发起接入尝试的 MTCD 在发送前导之前,首先要进行 ACB 检测,检测该 MTCD 在本随机接入时隙是否被允许发起接入.在 ACB 检测过程中,MTCD 按性能要求被分为不同的接入等级,基站定期地广播 ACB 参数  $T_{\text{ACB}}$ <sup>[5]</sup>.本文研究的范围为同一种接入类别,若某一设备通过了 ACB 检测,则允许其发送前导;否则,需要随机等待一段时间  $T_{\text{barring}}$  后重新进行 ACB 检测.在此,称被 ACB 机制限制发送前导的 MTCD 为 B-MTCD.

$$T_{\text{barring}} = [0.7 + 0.6u(0,1)] T_{\text{ACB}} \quad (1)$$

通过 ACB 检测的 MTCD 随机选取出一个前导发送到基站,若前导未发生碰撞,则继续进行随机接入过程;否则,从退避窗口  $W_{\text{BO}}$  中随机选取一个值进行退避<sup>[2]</sup>.在此,称前导发生碰撞的 MTCD 为 C-MTCD.

$$T_{\text{backoff}} = u(0, W_{\text{BO}}) \quad (2)$$

在所有接入时隙中,发送前导的 MTCD 不仅包括新到达并且通过 ACB 检测的 MTCD,还包括在本时隙进行前导重传的 C-MTCD.由于前导传输的次数不能超过最大重传次数,所以发送前导的 MTCDs 可以表示为一个  $N_{\text{PT}}$  维的矢量<sup>[14]</sup>.

$$\mathbf{N} = (N[1], N[2], \dots, N[N_{\text{PT}}]) \quad (3)$$

其中,  $N[i]$  表示第  $i$  次发送前导的 MTCD.

如图 2 中所示,进行 ACB 检测的设备包含新到达的 MTCDs 和重新进行 ACB 检测的 B-MTCD,如式(4)所示.

$$M_j = A_j + \sum_{i=G_{\min}}^{G_{\max}} M_{\text{barring}}(i, j) \quad (4)$$

其中,变量  $G_{\min}$  和  $G_{\max}$  分别是根据随机数  $T_{\text{barring}}$  的上界和下界计算出的可重新进行 ACB 检测的接入时隙的上界和下界.

第  $j$  个时隙重传前导的设备数为在本时隙进行重传的 C-MTCD 的和,如式(5)所示.

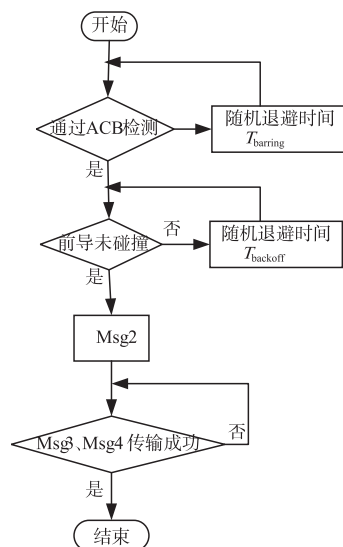


图2 基于ACB机制的随机接入流程图

$$M_{\text{retrans}}(j) = \sum_{i=H_{\min}}^{H_{\max}} M_{\text{coll}}(i, j) \quad (5)$$

其中,变量  $H_{\min}$  和  $H_{\max}$  分别是根据随机数  $T_{\text{backoff}}$  的上界和下界计算出的可进行前导重传的接入时隙的上界和下界。

由式(4)和式(5)可知,根据退避预测的估计模型可分别估计出进行 ACB 检测和前导重传的 MTCD 数量,根据第三章中的最优化问题可以得出最优 ACB 参数,以实现 ACB 参数的动态调整。

## 2.2 活跃 MTCD 数量的估计

假设在一个小区里均匀分布有  $n$  个 MTC 设备,并且 MTCD 的到达过程遵循突发性的 Beta 分布<sup>[2,10]</sup>. 本小节对 2.1 小节中提到的对 B-MTCD 和 C-MTCD 的退避预测进行了详解,根据预测退避的时隙估计重新进行 ACB 检测的设备数和重传前导的设备数。

按照 3GPP<sup>[2]</sup> 中的规定,海量机器类设备的到达遵循 Beta 分布,到达周期为  $T$ ,则 MTCD 的到达概率密度函数如式(6)所示。

$$\begin{cases} p(t) = \frac{t^{\alpha-1}(T-t)^{\beta-1}}{T^{\alpha+\beta-1} \text{Beta}(\alpha, \beta)} \\ \text{Beta}(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} dx \end{cases} \quad (6)$$

其中,  $\alpha = 3, \beta = 4$ <sup>[2]</sup>.

考虑到基站检测前导码所需的时间和等待基站响应的时隙  $W_{\text{RAR}}$ ,前导发生碰撞的 MTCD 最少需要退避两个随机接入时隙.由式(1)和(2)可知,随机数  $T_{\text{barring}}$  和  $T_{\text{backoff}}$  的范围分别为  $[0.7T_{\text{ACB}}, 1.3T_{\text{ACB}})$  和  $[6, W_{\text{Bo}} + 6]$ . 则在第  $j$  个随机接入时隙重新进行 ACB 检测的 B-MTCD 上一次被限制接入的时隙范围为  $[j-1-260T_{\text{ACB}}, j-140T_{\text{ACB}}]$ ,进行前导重传的 C-MTCD 上一次

发生前导碰撞的时隙范围为  $[j-w_s-2, j-2]$ .

再结合式(4)和式(5)中的定义,则  $G_{\min}$  和  $G_{\max}$  分别为  $j-1-260T_{\text{ACB}}$  和  $j-140T_{\text{ACB}}$ ,式(5)中的  $H_{\min}$  和  $H_{\max}$  分别为  $j-w_s-2$  和  $j-2$ . 考虑到式(3)中 MTC 设备重传次数的限制,每个随机接入时隙只有重传次数小于最大重传次数  $N_{\text{PT}}$  的 C-MTCD 才被允许发起重传.因此,第  $j$  个随机接入时隙传输前导的 MTCD 数量估计如式(7)所示。

$$M_p(j) = \begin{cases} A_j \cdot q_j, & 0 < j \leq 2 \\ A_j \cdot q_j + \sum_{k=1}^{j-2} M_{\text{coll}}(k, j), & 2 < j \leq w_s \\ A_j \cdot q_j + \sum_{k=j-w_s-2}^{j-2} M_{\text{coll}}(k, j), & w_s < j \leq 2N_{\text{PT}} - 1 \\ A_j \cdot q_j + \sum_{k=j-w_s-2}^{j-2} \sum_{i=1}^{N_{\text{PT}}-1} M_{\text{coll}}(k, j) \cdot \pi_i, & 2N_{\text{PT}} - 1 < j \leq 0.7T_{\text{ACB}} \\ (A_j + \sum_{i=1}^{j-0.7T_{\text{ACB}}} M_{\text{barring}}(i, j)) \cdot q_j \\ + \sum_{k=j-w_s-2}^{j-2} \sum_{i=1}^{N_{\text{PT}}-1} M_{\text{coll}}(k, j) \cdot \pi_i, & 0.7T_{\text{ACB}} < j \leq 1.3T_{\text{ACB}} \\ (A_j + \sum_{j-1.3T_{\text{ACB}}}^{j-0.7T_{\text{ACB}}} M_{\text{barring}}(i, j)) \cdot q_j \\ + \sum_{k=j-w_s-2}^{j-2} \sum_{i=1}^{N_{\text{PT}}-1} M_{\text{coll}}(k, j) \cdot \pi_i, & 1.3T_{\text{ACB}} < j \leq T_{\text{slot}} \\ (\sum_{j-1.3T_{\text{ACB}}}^{j-0.7T_{\text{ACB}}} M_{\text{barring}}(i, j)) \cdot q_j \\ + \sum_{k=j-w_s-2}^{j-2} \sum_{i=1}^{N_{\text{PT}}-1} M_{\text{coll}}(k, j) \cdot \pi_i, & T_{\text{slot}} < j \leq T_s \end{cases} \quad (7)$$

其中,常量  $w_s$ 、 $T_{\text{slot}}$  和  $T_s$  分别为退避窗口、到达周期和仿真周期的时隙数,  $\pi_i$  为 2.3 小节中介绍的第  $i$  次传输前导的稳态概率。

## 2.3 状态转移过程

在基于 ACB 的随机接入过程中,活跃的 MTCD 以一定的概率进行状态转移<sup>[15-17]</sup>. 在对每个随机接入时隙进行前导重传的设备数进行估计时,由于不是所有的 C-MTCD 都能进行前导重传,因此在退避预测模型中估计重传前导的设备数时应该加入对式(3)的考虑. 本小节将介绍每个随机接入时隙发生前导碰撞的 MTCD 能够进行冲产的稳态概率. 考虑到每个随机接入时隙中前导的最大传输次数为  $N_{\text{PT}}$  次,前导成功传输和接入失败,所以状态转移的状态数为  $N_{\text{PT}} + 2$ . 由于前导检测概率与 MTCD 传输前导的次数  $i$  有关( $p_i = 1 - e^{-i}$ ),当  $i \geq 2$  时,  $p_i \approx 1$ . 因此,在此只考虑第一次传输前导时的前导检测概率,发起接入请求的 MTCD 的状态转移过程

如图 3 所示.

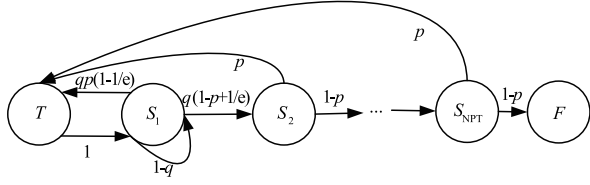


图3 随机接入的状态转移

在图 3 中,  $q$  和  $p$  分别表示在时隙  $j(j=1, 2, \dots)$  基站广播的 ACB 参数和成功发送前导的概率. 状态转移图中状态符号的意义如下:  $T$ : 成功发送接入请求;  $S_k$ : 第  $k$  次发送前导;  $F$ : 接入失败. 若 MTCD 成功发送第  $k(k < N_{PT})$  个前导, 则该 MTCD 从状态  $S_k$  转移到状态  $T$ ; 若 MTCD 通过了 ACB 检测但前导传输发生了碰撞, 则转移到状态  $S_{k+1}$ ; 若 MTCD 第  $k = N_{PT}$  次传输前导时, 前导发生了碰撞, 则该 MTCD 以概率  $(1-p)$  转移到状态  $F$ .

由图 3 的状态转移过程, 解得各状态的稳态概率如式(8)所示.

$$\begin{cases} \pi_1 = \frac{1}{q} \pi_T \\ \pi_i = (1-p + \frac{p}{e})(1-p)^{i-2} \cdot \pi_T, & i=2, \dots, N_{PT} \\ \pi_F = (1-p + \frac{p}{e})(1-p)^{N_{PT}-1} \cdot \pi_T \\ \pi_T = \frac{qp}{p+q \cdot [1 + \frac{p}{e} - (1-p + \frac{p}{e})(1-p)^{N_{PT}}]} \end{cases} \quad (8)$$

其中, 符号  $\pi_i$ 、 $\pi_T$  和  $\pi_F$  分别为 MTCD 第  $i$  次传输前导、成功传输前导和接入失败的稳态概率.

估计模型中在本时隙碰撞的 MTCDs 能够进行重传的概率  $P_{trans}$  是稳态概率  $\pi_i (i=1, 2, \dots, N_{PT}-1)$  的和.

### 3 ACB 参数的动态调整

基于退避预测的随机接入机制分为估计模型和 ACB 参数的动态调整两部分, 本章将介绍 ACB 参数的动态调整, 动态 ACB 机制的 ACB 参数是根据估计出的活跃 MTCD 数进行动态调整的. 在基于 ACB 机制的随机接入过程中, 每个随机接入时隙可用的前导数  $R$  为定值<sup>[2]</sup>, 所以 ACB 参数  $q$  动态调整在于最大化每个随机接入时隙成功接入的设备数<sup>[7-9, 14]</sup>. 假设有  $M (M > R)$  个 MTCD 进行 ACB 检测, 在此先不考虑重传的 C-MTCD, 当 ACB 接入参数为  $q$  时, 构建关于吞吐量的最优化问题, 如式(9)所示.

$$\begin{aligned} \max E(m|M) &= \max Mq(1-p)^{M-1} \\ \text{s. t. } &0 \leq M \leq n, \quad 0 \leq q < 1 \end{aligned} \quad (9)$$

由式(9)可知, 当  $M, R$  一定时, 吞吐量是一个关于

$q$  的凸函数, 可以求得最大值. 对  $q$  进行求导, 如式(10)所示.

$$\frac{\partial E(m|M)}{\partial q} = M \left(1 - \frac{q}{R}\right)^{M-2} \left(1 - \frac{Mq}{R}\right) \quad (10)$$

由式(10)可知, 当  $q = R/M$  时, 成功接入的 MTC 设备数取得最大值, 前导成功发送的概率为  $p = e^{-1}$ .

在本文所研究的场景中, 假设在第  $j$  个随机接入时隙中, 进行 ACB 检测的 MTCD 数量为  $M_j$ , 重传前导的 C-MTCD 数量为  $M_{retrans}(j)$ . 为了最大化每个随机接入时隙成功接入的设备数, 分为三种情况讨论: 当  $M_j + M_{retrans}(j) \leq R$  时, 未出现过载, 前导资源足够, 令  $q_j = 1$ ; 当  $M_{retrans}(j) > R$  时, 重传的设备数出现过载, ACB 机制应该禁止进行 ACB 检测的 MTCD 通过检测, 令  $q_j = 0$ ; 当  $M_{retrans}(j) < R$ , 且  $M_j + M_{retrans}(j) > R$  时, 有部分前导可以分配给通过 ACB 检测的 MTCDs, 由式(10)可知,  $q_j = [R - M_{retrans}(j)] / M_j$ . 综上, ACB 参数动态调整方式如式(11)所示.

$$\begin{cases} q_j = \max\left(0, \frac{R - M_{retrans}(j)}{M_j}\right), & M_j + M_{retrans}(j) > R \\ q_j = 1, & M_j + M_{retrans}(j) \leq R \end{cases} \quad (11)$$

本文所提出的基于退避预测的 ACB 动态接入机制的性能提升通过与现有的文献中提出的动态 ACB 机制中的接入成功概率和平均接入时延的比较得出. 其中, 接入成功率和平均接入时延的定义如下所示.

接入成功率: 在仿真周期  $T_s$  内成功接入的设备数与总的 MTCD 数量的比值, 假设第  $j$  个随机接入时隙成功接入的设备数为  $M_{succ}(j)$ , 则接入成功率如式(12)所示.

$$P_{succ} = \frac{\sum_{j=1}^{T_s} M_{succ}(j)}{n} \quad (12)$$

在第  $j$  个随机接入时隙, 发送第  $i$  个前导成功接入的 MTC 设备数如式(13)所示.

$$\text{succ}(j, i) \approx \frac{\pi_i}{N_{PT}} M_{succ}(j) \quad (13)$$

平均接入时延: 所有成功接入的 MTCD 所需的时延与所有成功接入的 MTCD 数量的比值, 假设 MTCD 第  $i$  次传输前导时成功接入所需的平均接入时延为  $T_n(i)$ <sup>[13]</sup>, 则成功接入设备的平均接入时延如式(14)所示.

$$E(D) = \frac{\sum_{j=1}^{T_s} \sum_{i=1}^{N_{PT}} \text{succ}(j, i) T_n(i)}{\sum_{j=1}^{T_s} M_{succ}(j)} \quad (14)$$

## 4 仿真结果及分析

由文献[11]可知,在基于竞争的大规模设备接下, $T_{ACB}=4s, q=0.5$ 时,静态 ACB 机制的平均接入时延最小.在本章中,将提出的 ACB 动态接入机制、基于最优退避参数的静态 ACB 机制和文献[14]中提出的动态 ACB 机制的接入成功概率和平均接入时延性能进行了比较.

图4是当小区中 MTCs 的总量  $n=30000$  时,随机接入过程中发送前导的设备数、发生碰撞的设备数和未发生碰撞的设备数的仿真结果.图4(a)是  $T_{ACB}=4s, q=0.5$  时基于静态 ACB 机制的仿真结果.图4(b)是在相同应用场景中本文所提出的 ACB 动态接入机制的仿真结果,从图中可以看出:与静态 ACB 相比,本文提出的 ACB 动态接入机制降低了发送前导的 MTC 数和碰撞的 MTC 数的峰值.而且,所提出的 ACB 动态接入机制吞吐量性能更高,因此,所有 MTC 完成接入所需的时延更短.

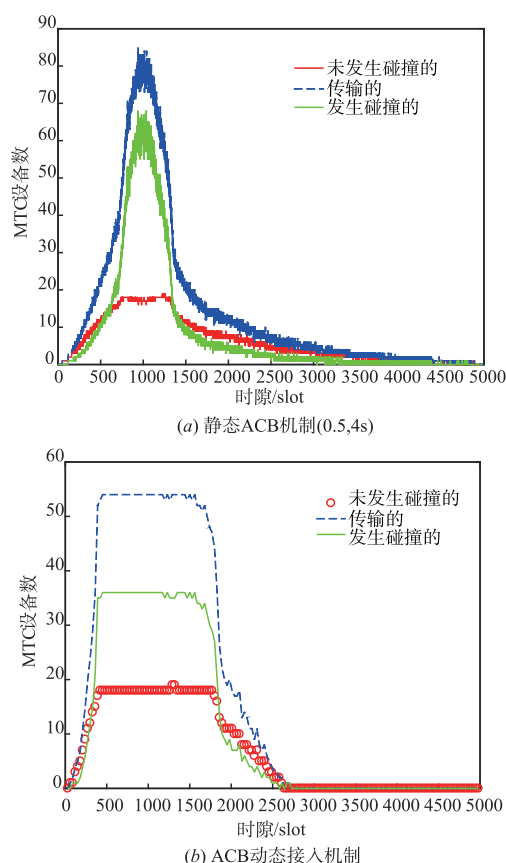


图4 每个随机接入时隙发起接入的MTCD数量( $n=30000$ )

图5(a)和图5(b)分别是所提 ACB 动态接入机制、静态 ACB 机制和文献[14]中提出的动态 ACB 机制对成功接入概率和平均接入时延的仿真曲线,从图中可知所提 ACB 动态接入机制的接入成功率为 100%,文献

[14]中提出的动态 ACB 机制的接入成功率随着设备总数的增加稍微有所降低但也近似 100%,而静态 ACB 机制的成功接入概率随着设备总数的增加而逐渐降低.当设备总数为 30000 时,静态 ACB 机制的成功接入概率降低到 97.3%左右.随着设备总数的增加,静态 ACB 机制中成功接入设备的平均接入时延维持在 2s 左右不变,所提的 ACB 动态接入机制中成功接入设备的平均接入时延逐渐增大到 1.1s,而文献[14]中提出的动态 ACB 机制的平均接入时延则相对本文提出的 ACB 动态接入机制增长更加剧烈,当设备总数超过 28000 后,平均接入时延甚至超过在本文估计算法下的静态 ACB 机制的平均接入时延.由于静态 ACB 机制不论是否出现过载,都限制一半的设备发送前导,所以即使在低负载强度下 ACB 动态接入机制的平均接入时延都比静态 ACB 机制的要低.

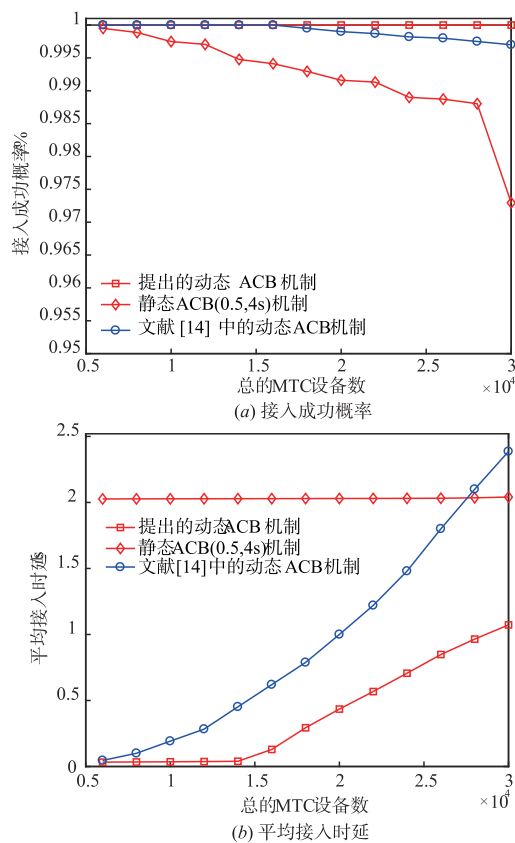


图5 随机接入的性能比较

## 5 结论

在海量机器类通信的场景中,本文提出了一种新的 ACB 动态接入机制来调整 ACB 参数,以有效控制过载情况下随机接入过程中出现的拥塞问题.所提出的 ACB 动态接入机制分为两部分:基于退避预测的负载估计模型和 ACB 参数的动态调整.在文章最后,分别对接入成功概率和平均接入时延进行了仿真对比与分

析. 从仿真结果中可以得出结论:在过载场景中,本文提出的 ACB 动态接入机制能够在保证成功接入概率的情形下明显降低成功接入设备的平均接入时延. 同时,本文的拥塞控制方案符合当前的系统规范,能够进行有效的拥塞控制.

#### 参考文献

- [1] Z Dawy, W Saad, A Ghosh. Toward massive machine type cellular communications [J]. IEEE Wireless Communications, 2017, 24(1): 120 – 128.
- [2] 3GPP, TS 37. 868. Study on RAN Improvements for Machine-type Communications (Release 11) [S].
- [3] 3GPP, TS 22. 368. Service Requirements for Machine-Type Communications [S].
- [4] A Laya, L Alonso, J Alonso-Zarate. Is the random access channel of LTE and LTE-A suitable for M2M communications? A survey of alternatives [J]. IEEE Common Surveys Tuts, 2014, 16(1): 4 – 16.
- [5] F Ghavimi, H-H Chen. M2M communications in 3GPP LTE/LTE-A networks: architectures, service requirements, challenges, and applications [J]. IEEE Common. Surveys Tuts, 2015, 17(2): 525 – 549.
- [6] 3GPP, TS 22. 011, V13. 1. 0, Service Accessibility [S].
- [7] Duan S, Shah-Mansouri V, Wong V W S. Dynamic access class barring for M2M communications in LTE networks [A]. Global Telecommunications (GLOBECOM) [C]. Atlanta; IEEE, 2013. 4747 – 4752.
- [8] Suyang Duan, Vahid Shah-Mansouri, Zehua Wang, Vincent W S Wong. D-ACB: Adaptive congestion control algorithm for bursty M2M traffic in LTE networks [J]. IEEE Transactions, 2016, 65(12): 9847 – 9861.
- [9] H Kim, S s Lee, S Lee. Dynamic extended access barring for improved M2M communication in LTE-A networks [A]. IEEE International Conference on Systems [C]. Banff; IEEE, 2017. 2742 – 2747.
- [10] Xin Jian, Xiaoping Zeng, YunJian Jia, et al. Beta/M/1 model for machine type communication [J]. IEEE Communication Letters, 2013, 17(3): 584 – 587.
- [11] L Tello-Oquendo, I Leyva-Mayorga, V Pla, J Martinez-Bauset, J R Vidal, V Casares-Giner, L Guijarro. Performance analysis and optimal access class barring parameter configuration in LTE-A networks with massive M2M traffic [J]. IEEE Trans, April 2018, 67(4): 3505 – 3520.
- [12] Ray-Guang Cheng, Zdenek Becvar, Ping-Hsun Yang. Modeling of distributed queueing-based random access for machine type communications in mobile networks [J]. IEEE Communication Letters, 2018, 22(1): 129 – 132.
- [13] Chia-hung Wei, Giuseppe Bianchi, Ray-guang Cheng. Modeling and analysis of random access channels with bursty arrivals in OFDMA wireless networks [J]. IEEE Transactions, 2015, 14(4): 1940 – 1953.
- [14] Luis Tello-Oquendo, José-Ramón Vidal, Vicent Pla, Luis Guijarro. Dynamic access class barring parameter tuning in LTE-A networks with massive M2M traffic [A]. Ad Hoc Networking Workshop, Med-Hoc-Net, IFIP Annual Mediterranean [C]. Capri; IEEE, 2018. 1 – 8.
- [15] Wen Zhan, Lin Dai. Massive random access of Machine-to-Machine communications in LTE networks: Modeling and throughput optimization [J]. IEEE Transactions, 2015, 17(4): 2771 – 2785.
- [16] L Dai, X Sun. A unified analysis of IEEE 802. 11 DCF networks: Stability, throughput, and delay [J]. IEEE Trans, 2013, 12(8): 1558 – 1572.
- [17] Y Gao, X Sun, L Dai. IEEE 802. 11e EDCA networks: Modeling, differentiation and optimization [J]. IEEE Trans, 2014, 13(7): 3863 – 3879.

#### 作者简介



孙 君(通信作者) 女, 1980年7月生, 现为南京邮电大学教师, 硕士生导师, 研究方向为无线网络、无线资源管理和物联网。  
E-mail: sunjun@njupt.edu.cn



万 聪 男, 1993年8月生于湖北鄂州, 现为南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生. 主要研究方向为海量机器类通信设备的随机接入。  
E-mail: wc\_xcb@163.com



闵宝成 男, 1993年7月生于安徽天长, 现为南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生, 主要研究方向为 SCMA 接收端解码算法。  
E-mail: 673240842@qq.com



杨赛赛 男, 1993年7月生于江苏宿迁, 现为南京邮电大学通信与信息工程学院硕士研究生, 主要研究方向为海量机器类通信过程中的资源分配。  
E-mail: stephon510@163.com