



LTE-Advanced 时隙接入中动态帧长选择算法

段红光, 卢松品, 王利飞, 王胜, 李同会, 谭丹

(重庆邮电大学, 重庆 400065)

摘要:通过分析 LTE-Advanced 系统中基于时隙接入信道控制协议(SCACP)的随机接入模型,提出一种时隙接入方法中接入帧长的优化算法。利用网络实时接入负载实现时隙接入中动态帧长的选择,使得优化后的接入帧长更适合当前接入负载,保障了较高的接入成功率,消除了不必要的接入时延,还在一定程度上减少了前导重传次数。最后通过仿真验证了所提动态帧长选择算法的有效性和实用性。

关键词: LTE-Advanced; 随机接入; 时隙接入; 动态帧长

中图分类号: TN915.6

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017060

Dynamic frame length selection algorithm for slotted access in LTE-Advanced

DUAN Hongguang, LU Songpin, WANG Lifei, WANG Sheng, LI Tonghui, TAN Dan

Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

Abstract: Through analyzing the random access model of slotted access based channel access control protocol (SCACP) in LTE-Advanced system, an optimization algorithm for access frame length selection based on slotted access was proposed. The dynamic frame length selection in slotted access based on network real-time access load was realized. Moreover, the optimized access frame length was more suitable for current access load than before. It could ensure a high success rate of access, eliminate the unnecessary access delay and decrease the number of retransmissions to some extent. The simulation results demonstrate that the proposed dynamic frame length selection algorithm is more effective and practical.

Key words: LTE-Advanced, random access, slotted access, dynamic frame length

1 引言

随着无线连接的智能设备大量涌现,机器类通信(machine type communication, MTC)作为物联网(internet of things, IoT)不可或缺的一部分,因其广阔的市场前景和发展空间而逐渐受到关注和研究。MTC 通信是一种不需要人

为干预, MTC 设备可以直接连接到网络或其他 MTC 设备的无线通信技术^[1]。相比于传统人与人(human to human, H2H)通信中的语言和分组数据业务有很大的不同,其设备数量巨大,单小区设备数目超过 3 万个;流量呈现同步性,到达服从 Beta 分布;单次通信数据量小且以上行流量为主^[1,2]。这对均匀负载、高数据率设计的传统蜂窝网无疑

收稿日期:2017-01-10;修回日期:2017-02-23

基金项目:国家科技重大专项基金资助项目(No.2015ZX03001026-002)

Foundation Item: The National Science and Technology Major Project of China(No.2015ZX03001026-002)



$$M(i, n) = \begin{cases} M \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(t) dt, n=1 \\ M(i - T_w, n-1) - M_s(i - T_w, n-1), 2 \leq n \leq N_{pmax} \end{cases} \quad (4)$$

其中, M 为仿真设备的数目, $M_s(i - T_w, n-1)$ 为接入时隙 $(i - T_w)$ 第 $(n-1)$ 次前导传输成功的设备数目, $M(i)$ 为传输前导数目, $M(i) = \sum_{n=1}^{N_{pmax}} M(i, n)$ 。

2.3 RACH 性能分析

3GPP 已在参考文献[3]中定义了衡量蜂窝网随机接入性能的衡量指标。本文定义以下指标来衡量所提算法的性能, 具体描述如下。

(1) 接入成功率

接入成功率表示仿真周期内 M 个设备中成功设备数目所占百分比。 p_f 是 msg3/msg4 传输失败的概率^[9], $p_f=0.1$, 因为 msg3/msg4 采用 HARQ 确保成功率, 所以忽略 p_f 对接入成功率的影响。接入成功率表示为:

$$P_s = \frac{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{n=1}^{N_{pmax}} M_s(i, n)(1 - p_f)}{M} \approx \frac{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{n=1}^{N_{pmax}} M_s(i, n)}{M} \quad (5)$$

其中, I_{max} 为仿真接入时隙数。

(2) 接入设备平均接入时延

设备接入时延考虑从数据到达最后成功接入网络所需时间, 则平均接入时延为成功接入设备的总时延与成功接入设备的比值, 接入失败用户不包含在内。平均接入时延表示为:

$$avgD = \frac{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^{N_{pmax}} M_s(i, k) \times T_n}{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^{N_{pmax}} M_s(i, k)} \quad (6)$$

其中, T_{msg} 是 msg3/msg4 消息的平均重传时间^[11], T_n 为第 n 次前导传输成功所需时间, 包含前 $(n-1)$ 次重传和第 n 次传输成功的时间, 表示为:

$$T_n = \frac{(L-1)T_{RA}}{2} + T_{RAR} + W_{RAR}/2 + (n-1)T_w + T_{msg} \quad (7)$$

(3) 前导传输次数的累积概率分布

前导传输次数的累积概率分布为不超过 m 次前导传输接入成功的设备数目与总接入成功设备数目的比值, 表示为:

$$F(m) = \frac{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^m M_s(i, k)}{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^{N_{pmax}} M_s(i, k)} \quad (8)$$

(4) 接入时延的累积概率分布

接入时延的累积概率分布为不超过给定时延的接入

成功的设备数目与总接入成功设备数目的比值, 表示为:

$$G(d) = \frac{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^{m_{max}(d)} M_s(i, k)}{\sum_{i=1}^{I_{max}} \sum_{k=1}^{N_{pmax}} M_s(i, k)} \quad (9)$$

其中, $m_{max}(d)$ 是给定时延前导的最大传输次数^[12], $m_{max}(d) = \lfloor (d - T_{RAR} - W_{RAR}/2 - T_{msg} - 1) \rfloor + 1$ 。

3 动态帧长选择算法

3.1 算法实现

参考文献[9]中已经分析和仿真说明了基于时隙接入信道控制协议缓解拥塞的有效性, 但是其接入帧长设置不灵活, 导致接入时延偏高。下面针对时隙接入方法提出优化, 具体步骤如下。

步骤 1 网络负载监测: 预先定义高/低负载门限, 基站采用滑动窗口内监视接入负载, 取滑动窗口 (W_s) 为 16 RAslot, 系统广播周期为 80 ms。网络负载的监测使用参考文献[13]模型中的负载估计方法, 其估计精度已得到验证。

步骤 2 接入帧长选择: 当负载超过预先定义门限时, 认为当前负载过高或过低, 将更新接入帧长, 使负载处于一个合理水平。用 L 表示其接入帧长, H_{thr} 表示高负载下限, L_{thr} 表示低负载上限。考虑网络控制存在滞后性, 采用滞后提前量 R 来降低过载时滞后性调节带来的不利影响, R 可以通过仿真结果获取, 这里 $R=10$, 修正后动态帧长选择如算法 1 所示。

算法 1 动态帧长选择

输入 前导信息 (a, b, c) , 当前接入时隙 i

输出 接入循环的长度 L

初始化 $L=1; L_{max}=128; H_{thr}=120; L_{thr}=40; R=10$

(1) 据前导状态信息 (a, b, c) 估计当前滑动窗口内接入负载 M'_i 并预测 M'_{i+1} ;

(2) if $i \bmod W_s = 0$ then

(3) if $M'_{i+1} > H_{thr} - R$ and $2L \leq L_{max}$ then

(4) return $L=2L$;

(5) else if $M'_{i+1} < L_{thr}$ then

(6) return $L=L/2$;

(7) else if $L_{thr} < M'_{i+1} < H_{thr} - R$ then

(8) return $L=L$;

(9) end if

(10) end if

3.2 算法性能

动态帧长选择算法实现步骤已在第 3.1 节做了详细描述,为说明所提算法的控制效果,图 2 对比了设备数目为 20 000 时的负载变化,其中图 2(a)是无控制算法的效果,图 2(b)是应用动态帧长选择算法后的效果。

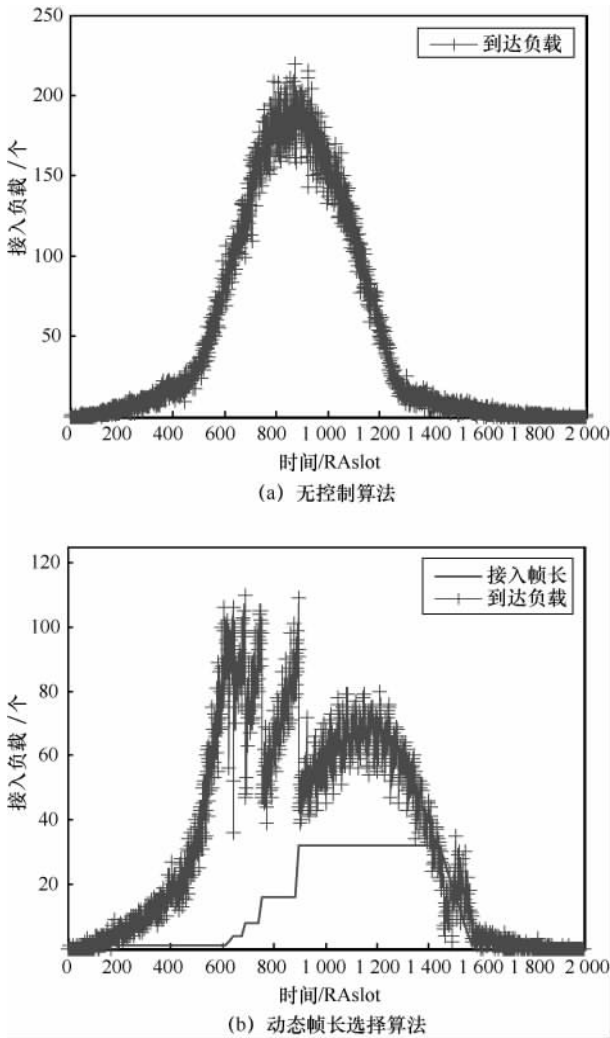


图 2 动态帧长算法的负载变化

可以看出,图 2(a)中负载峰值达到 200 个/RAslot,已出现严重过载,而图 2(b)中负载低于 120 个/RAslot 且多次超过门限时都得到了有效控制,说明所提算法能有效控制网络负载,防止过载现象的发生。

4 仿真结果分析

4.1 参数设置

本文中使用 C++实现的 LTE-SIM 无线仿真平台,网络模式设置为 FDD 模式。本文使用 3GPP 在 TR37.868 定义的 MTC 随机接入系统仿真参数,具体仿真参数可从参考

文献[3]中获取。而且,考虑到仿真真实性,msg3/msg4 采用 HARQ 机制来增加传输可靠性。参数配置见表 1。

表 1 基本参数配置

参数	含义	配置
M	MTC 设备数量	5 000~30 000
$p(t)$	MTC 设备到达	Beta(3,4)
T/s	MTC 设备到达周期	10
N_A	可用前导数目	54
$T_{RAR}/\text{子帧}$	基站处理时间	2
$W_{RAR}/\text{子帧}$	响应窗口	5
$T_{RA}/\text{子帧}$	相邻接入时隙间隔	5
$W_{bo}/\text{子帧}$	退避窗口	20
N_{pmax}	前导最大重传次数	10
N_{UL}	msg2 响应限制	15
p_n	基站检测概率	$p_n=1-e^{-n}$
$T_{RA}/\text{子帧}$	相邻接入时隙间隔	5
N_{HARQ}	msg3/msg4 重传限制	5
p_t	msg3/msg4 重传概率	0.1
$W/RAslot$	滑动窗口	16
H_{thr}/L_{thr}	高/低负载门限	120/40
R	滞后提前量	10
L	接入帧长	1~128

4.2 仿真与结果分析

为验证本文提出动态帧长选择算法切实有效,本文仿真对比不同接入帧长和参考文献[9]算法的性能,采用第 2.3 节描述的衡量指标来分析所提算法的性能,具体仿真结果如图 3~图 6 所示。

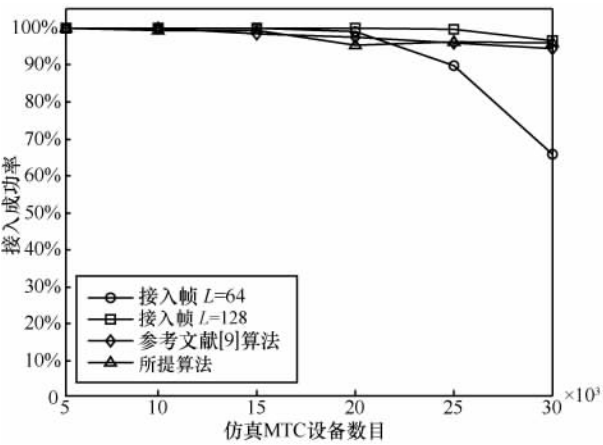


图 3 不同负载下的接入成功率

图 3 描述了 MTC 数量为 5 000~30 000 时不同算法的接入成功率情况,所提算法、帧长 $L=128$ 和参考文献[9]算法均高于 95%,而 $L=64$ 的接入成功率在负载为 30 000 个时已下降到 65.7%,可以看出所提算法能有效控制接入负载,保证接入成功率。图 4 显示了不同算法的平均接入时

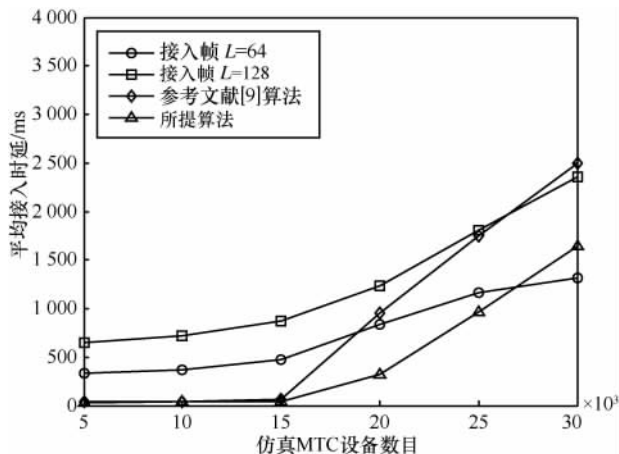


图4 不同负载下的平均接入时延

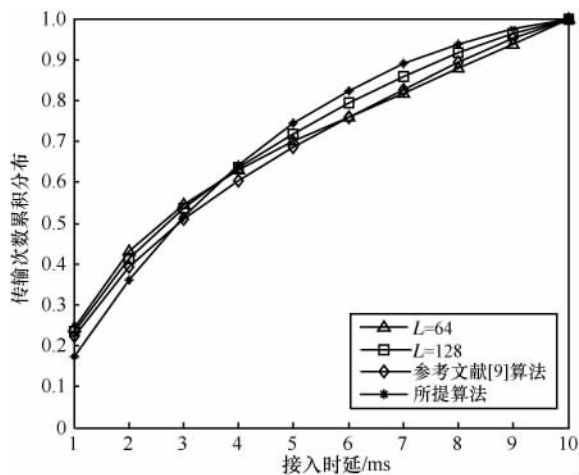


图5 30 000 负载时前导传输次数的累积概率分布

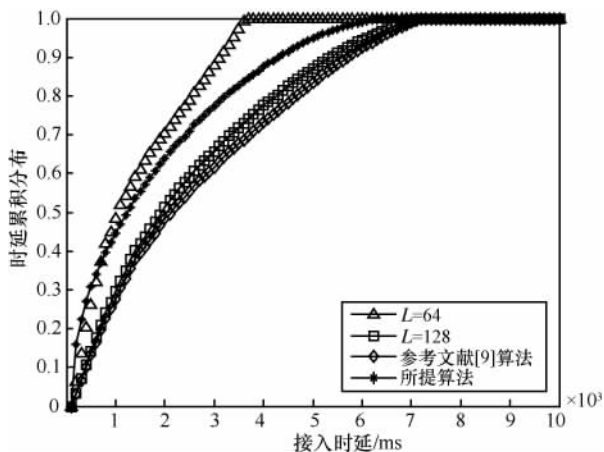


图6 30 000 负载时接入时延的累积概率分布

延性能,可以看出,所提算法平均接入时延特性优于帧长 $L=128$ 和参考文献[9]算法。高负载情况 ($M>20\ 000$) 下,动态帧长算法比参考文献[9]算法的平均接入时延低 0.64 s ,但在负载为 $30\ 000$ 个时,动态帧长选择算法的平均接入

时延 (1.63 s) 高于 $L=64$ 的平均接入时延 (1.31 s),这是因为动态帧长选择算法需要更长的接入帧来控制接入负载。说明所提算法能智能选择接入帧长,减少不必要的退避时延,对接入时延特性提升明显,图6中的接入时延累积概率分布曲线也充分说明了这一点。

图5是负载为 $30\ 000$ 个时前导传输的累积概率分布曲线,可以看出动态帧长算法均高于其他曲线,说明所提算法良好,能在一定程度上减少前导重传次数。帧长 $L=64$ 的曲线略低于帧长 $L=128$,是因为接入帧 $L=64$ 时已经出现过载现象,图3显示接入成功率仅为 65.7% ,设备接入时需要更多的重传次数。图6描述接入时延的累积概率分布曲线,所提算法性能优于帧长 $L=128$ 和参考文献[9]算法,但比帧长 $L=64$ 性能差,这是由于为控制接入负载,所提算法选用了大于 64 的接入帧长,导致接入时延曲线下降,但比帧长 $L=128$ 和参考文献[9]算法时延性能优越,更进一步说明了所提算法能在保证接入成功率的前提下,智能地选择合适的接入帧长,从而降低接入时延。

5 结束语

为解决大量 MTC 终端同步性到达对无线接入网产生的冲击,本文基于时隙接入信道控制协议提出一种动态帧长选择算法,当负载高时选用较长的接入帧长,负载低时选用较短的接入帧长。随后验证了所提算法的负载控制性能并与其他算法进行仿真对比。从仿真结果来看,所提动态帧长选择算法性能良好,能更智能地选择合适的接入帧长,既保证了设备接入成功率,又降低了接入时延,还在一定程度上减少了前导重传次数。但仿真中认为所有 MTC 设备具有相同的接入优先级,未考虑不同 MTC 设备类别之间的优先级区别。未来将引入接入优先级的概念,研究设备存在优先级情况下的随机接入,使算法更具通用性和真实性。

参考文献:

- [1] 3GPP. Service requirements for machine-type communications: TS22.368[S]. 2012.
- [2] 3GPP. System improvements for machine type communications: TR23.888[S]. 2012.
- [3] 3GPP. Study on RAN improvements for machine type communication: TR37.868[S]. 2011.
- [4] LARMO A, SUSITAIVAL R. RAN overload control for machine type communications in LTE[C]// GLOBECOM Workshops, Dec 3-7, 2012, Houston, Texas, USA. New Jersey: IEEE Press, 2012: 1626-1631.

- [5] CHOU C M, HUANG C Y, CHIU C Y. Loading prediction and barring controls for machine type communication [C]// IEEE International Conference on Communications, June 9-13, 2013, Budapest, Hungary. New Jersey: IEEE Press, 2013: 5168-5172.
- [6] LIN T M, LEE C H, CHENG J P, et al. PRADA: prioritized random access with dynamic access barring for MTC in 3GPP LTE-A networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2014, 63(5): 2467-2472.
- [7] CHENG R G, CHEN J, CHEN D W, et al. Modeling and analysis of an extended access barring algorithm for machine-type communications in LTE-A networks [J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(6): 1.
- [8] ZHOU K, NIKAEIN N. Random access with adaptive packet aggregation in LTE/LTE-A [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2016(1): 1-15.
- [9] WEI C H, CHENG R G, LIN Y S. Analysis of slotted-access-based channel access control protocol for LTE-Advanced networks[J]. Wireless Personal Communications, 2015, 85(1): 9-27.
- [10] 3GPP. Load distribution for MTC devices, ALU/ASB, RAN270bis: R2-103759[S]. 2010.
- [11] WEI C, BIANCHI G, CHENG R. Modeling and analysis of random access channels with bursty arrivals in OFDMA wireless networks[J]. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2015, 14(4): 1940-1953.
- [12] 3GPP. Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA) and evolved universal terrestrial radio access network (EUTRAN); overall description; stage 2 (release 10) V10.4.0: TS36.300[S]. 2011.
- [13] 段红光, 卢松品, 王利飞, 等. 机器类通信中基于负载反馈的拥塞控制方法[J]. 电信科学, 2016, 32(11): 26-31.
DUAN H G, LU S P, WANG L F, et al. A congestion control method on loading-feedback in MTC [J]. Telecommunications Science, 2016, 32(11): 26-31.

[作者简介]



段红光(1969-),男,重庆邮电大学正高级工程师、硕士生导师,主要研究方向为新一代宽带移动通信核心芯片、协议及系统应用、宽带无线通信。



卢松品(1990-),男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为新一代宽带移动通信核心芯片、无线接入网、5G MTC 增强。



王利飞(1990-),男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为移动通信、卫星系统时频同步。



王胜(1990-),男,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为物联网、无线资源管理。



李同会(1992-),女,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为移动通信技术、无线资源管理。



谭丹(1990-),女,重庆邮电大学硕士生,主要研究方向为 5G 双连接技术及无线接入网。