



LAA 系统在非授权频段上的动态子帧配置策略

姜伟^{1,2}, 刘是枭^{1,2}, 胡恒^{1,2}, 张晨璐²

(1. 重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065;

2. 宇龙计算机通信科技有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要:异构网络中动态 TDD 技术的应用可以有效提高系统吞吐量,改善系统性能。由于受到信令控制等问题的限制,授权频段上往往只是实现传统的 7 种固定子帧配比之间的动态切换。而非授权频段作为工作在授权频段上 LTE 系统的一个补充,不用考虑信令控制等问题,可以实现更加灵活的完全动态子帧配置。提出了两种非授权频段上的动态子帧配置算法,并与传统的静态子帧配置进行比较,通过 LAA 系统级仿真平台验证动态子帧配置算法对系统性能的影响。仿真表明,提出的两种动态子帧配置算法可以有效提升资源利用率,提高系统整体吞吐量。

关键词:动态子帧配置;LAA;非授权频段;系统级仿真

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016193

LAA system dynamic sub-frame configuration strategy in unlicensed bands

JIANG Wei^{1,2}, LIU Shixiao^{1,2}, HU Heng^{1,2}, ZHANG Chenlu²

1. School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

2. Yulong Computer Communication Technology Co., Ltd., Shenzhen 518057, China

Abstract: The use of dynamic TDD technology in heterogeneous network can effectively increase the system throughput and improve the performance of the system. Due to the limitation of signaling control and other issues, there is usually a dynamic switching between the traditional seven fixed sub-frame ratios in the licensed bands. But as a complement to the LTE system worked in the licensed bands, the unlicensed bands can achieve a more flexible and complete dynamic sub-frame configuration without considering signaling control and other issues. Two new dynamic sub-frame configuration algorithms in unlicensed bands were proposed and compared with traditional static sub-frame configuration, then the impact of dynamic sub-frame allocation algorithms on system performance was verified by LAA system level simulation platform. The results show that the proposed dynamic sub-frame configuration strategies can effectively improve the resource utilization and the overall system throughput.

Key words: dynamic sub-frame configuration, licensed-assisted access, unlicensed band, system level simulation



1 引言

随着移动通信技术的快速发展和通信业务量的急剧增加,授权频谱资源已经非常拥挤,越来越不能满足更高网络容量的需求。为了进一步提高频谱资源的利用率,满足用户对更高的数据速率、更好的覆盖性能、更高的可靠性的需求,3GPP (the 3rd Generation Partnership Project) 提出了 LAA (licensed-assisted access) 的概念,借助 LTE 授权频谱的帮助来使用未授权频谱^[1]。

LTE 系统根据上下行业务复用方式的不同,可以分为 TDD (time division duplexing, 时分复用) 系统和 FDD (frequency division duplexing, 频分复用) 系统。TDD 和 FDD 系统有着各自的优缺点。相比 FDD 系统来说,TDD 系统上下行传输信号在同一频带内,通过将信号调度到不同时间段,采用非连续方式发送,并设置一定的时间间隔方式以避免上下行信号干扰。TDD 系统对系统资源的利用效率更高,而且可以根据上下行业务量的不同,在基站间使用不同的上下行子帧比例的无线帧结构。这里就涉及上下行子帧配置的问题,传统的 TD-LTE (time division long term evolution, 分时长期演进) 系统往往采用集中式、半静态的小区上下行子帧配置。进入 4G 移动通信时代后,由于非授权频段、多载波技术的引入以及异构网络^[2]节点的大量部署等,无线环境变得更为复杂。同时,随着智能终端的广泛普及、各种新业务的不断涌现,上下行业务很难保持一个稳定的比例。在这种情况下,现有的集中式、半静态的小区子帧配置方式显然不能很好地发挥 TDD 系统的特点,也不能很好地利用非授权频段带来的频谱效率提高、覆盖性能提升等优势。

现阶段大部分研究都是针对授权频段异构网络的动态 TDD 技术。参考文献[3]详细介绍了室外 pico 部署动态

TDD 场景的性能评估及仿真方法,提及了一种简单的考虑系统业务量和信道性能的动态配置调整算法。参考文献[4]介绍了异构网络中的动态 TDD 技术,分析动态 TDD 技术在异构网中的性能,重点关注动态 TDD 不同子帧重配周期(10 ms 和 40 ms)对系统吞吐量的影响。以上两篇参考文献介绍的动态 TDD 技术都是在授权频段上实现的 7 种固定子帧配比之间的动态切换,并没有实现每个子帧都可以动态变化为上行或下行子帧。而参考文献[5]则介绍了一种 5G 系统中根据上下行缓存区大小门限值和队头时延门限值来灵活配置每个上下行子帧的算法,并仿真验证了这种上下行子帧选择算法的优越性。参考文献[5]这种完全动态配置每个子帧传输方向的算法,相比于传统 7 种固定子帧配比之间动态切换的算法,更能反映当前信道的上下行业务量情况,也更加适用于存在突发性业务的通信情况。

未来网络中无线数据业务量将会大大增加,上下行业务变化也更加频繁、快速。因此本文提出了两种 TDD 动态子帧配置算法。基本思想都是通过对业务类型及业务量的测量和反馈,在非授权频段上实现不同小区上下行子帧的灵活、动态自适应配置,从而达到提高无线通信资源利用率的目的。两种算法最大的不同就是子帧重配周期和子帧配置窗口大小,算法 1 中每个 TTI(transmission time interval)时刻都会对之后的子帧进行重配且每次只配置一个子帧,而算法 2 则以 10TTI 时长为周期配置子帧,且每次配置 10 个子帧。本文对两种动态子帧配置方式进行了对比分析,并通过 MATLAB 仿真对两种动态子帧配置方式进行了评估。

2 系统模型

TD-LTE 物理层帧结构如图 1 所示。10 ms 的无线帧包含两个半帧,长度各为 5 ms。每个半帧包含 5 个子帧,长度为 1 ms^[6]。

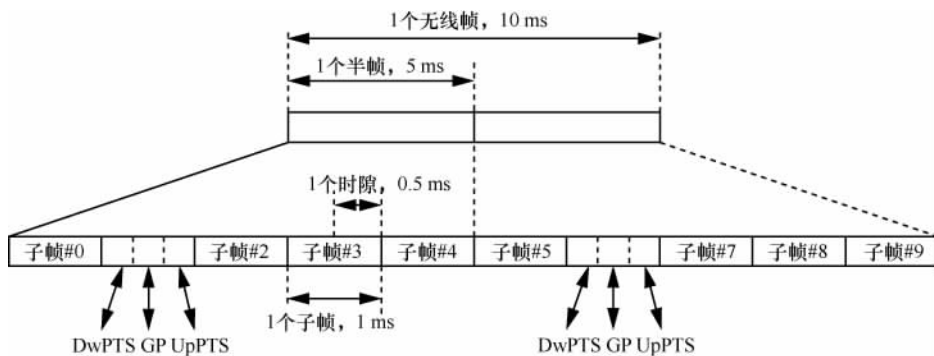


图 1 TD-LTE 物理层帧结构

TD-LTE 支持两类时隙比例配置,周期分别为 5 ms 和 10 ms。具体配置参见表 1,TD-LTE 共支持 7 种上下行子帧配置格式(用 0~6 表示),其中,D 代表下行子帧,U 代表上行子帧,S 为特殊子帧,由 DwPTS、GP 和 UpPTS 3 个特殊时隙组成^[7]。

非授权频段上 TDD 子帧的动态配置定义为系统中各 LAA 基站综合考虑小区内上下行业务量及上下行信道质量情况,灵活、动态自适应地配置小区子帧类型。为了更加灵活,不设置 S 子帧,每个子帧都可以动态变化为 D 或 U 子帧。转换时的保护间隔可放在 D 子帧的最后面或者 U 子帧的最前面。

本文采用的信道检测机制是基于负载的信道检测(load based equipment, LBE)机制^[8,9]。LBE 机制可以分为两部分:触发初始 CCA(initial CCA)检测和扩展信道空闲评估(extended clear channel assessment, ECCA)。当信道处于空闲状态,并且有数据要传输时,会进入初始 CCA 阶段,在初始 CCA 阶段检测到信道连续 34 μ s 空闲,则可占用信道,并生成一个信道占用时长 T ;当信道处于忙碌状态但有数据需要传输时或者初始 CCA 检测信道为忙碌时,则进入 ECCA 阶段。进入 ECCA 阶段首先会生成一个随机数——信道检测退避次数 N , N 在 $(1:q)$ (q 值由设备预先配置)之间取值。若退避期间检测到信道状态为忙碌,则进入推迟周期(defer period)信道检测,在推迟周期内检测到信道连续 34 μ s 空闲之后再继续进行 ECCA 过程,每次 ECCA 检测信道为空闲状态,则 N 值减 1,直到 N 次 ECCA 检测信道状态都为空闲才可以占用信道,占用信道时长为 T 。LBE 机制的结构设计如图 2 所示。

3 动态子帧配置策略

随着移动通信技术的高速发展,业务量在一段时间内可能出现爆发式增长,上下行业务量的变化也更加频繁。现有的集中式、半静态的小区上下行子帧配置方式不能很好地适应这种突发性业务带来的变化,造成资源浪费、频谱效率下降。针对本文的研究场景,在非授权频段上部署不同运营商的 LAA 网络的 TDD 子帧配置也存在这个问题。为了解决这种业务的突发性带来的问题,本文针对非授权频段以 TDD 的方式被 LTE 使用的情况,设计了两种小区灵活、自适应的上下行子帧配置算法。

3.1 连续子帧动态配置算法

连续子帧动态配置算法在每个 TTI 时刻都会进行子帧动态配置且每次只配置一个子帧,即子帧重配周期和子帧配置窗口都为 1TTI。基本思想是首先该算法会初始化 DL 帧为默认子帧,之后在每个子帧的起始时刻,LAA 基站根据当前时刻上下行业务量比例 M 与对比参数 m 的大小关系对上下行子帧进行重新配置。对于对比参数 m 的取值,可以取上下行泊松过程的 λ 的比值,即 $\lambda_{ul}/\lambda_{dl}$ 。 λ_{ul} 为上行泊松过程中的 λ 值, λ_{dl} 为下行泊松过程中的 λ 值。上下行业务量比例 M 计算式为:

$$M = \frac{\sum B_{UL}}{\sum B_{DL}} \tag{1}$$

其中, $\sum B_{UL}$ 为上行缓存中待传总比特数, $\sum B_{DL}$ 为下行缓存中待传总比特数。

算法的具体过程如下:在 $TTI=1$ 时刻,初始化 DL 帧为默认子帧。之后从每个 TTI 的起始时刻,分别统计各 LAA

表 1 TD-LTE 上下行子帧比例配置

上下行配置格式	上下行转换周期/ms	子帧号									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

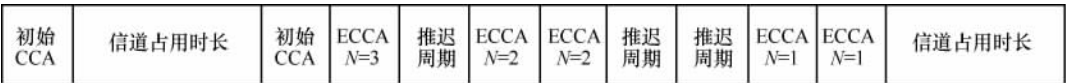


图 2 LBE 机制的结构设计



基站下所有附着的 UE 在上下行缓存中的待传总比特数, 得到上下行业务量比例 M , 然后和对比参数 m 进行比较, 若 $M \geq m$, 则将 4 个 TTI 之后的子帧设置为 UL 帧; 若 $M < m$, 则 4 个 TTI 之后的子帧保持不变, 仍为 DL 帧。流程如图 3 所示。

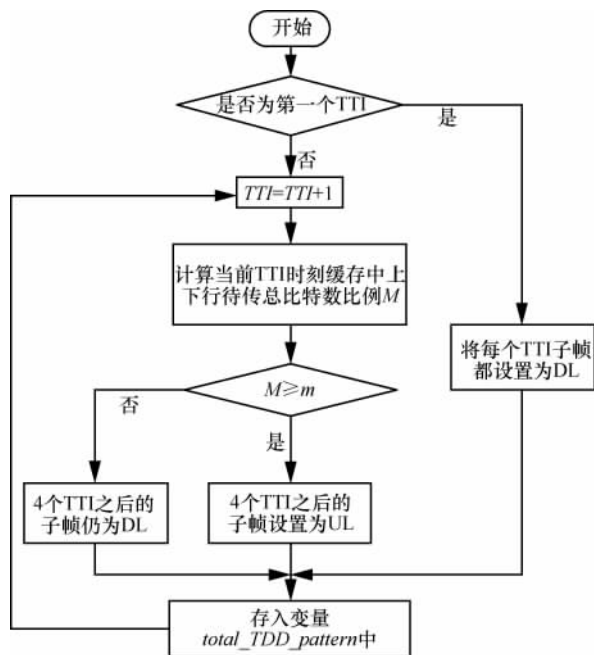


图3 连续子帧动态配置算法流程

3.2 周期性子帧动态配置算法

周期性子帧动态配置算法以 $10TTI$ 时长为周期配置子帧且每次配置 10 个子帧。为此, 根据当前时刻上下行业务量比例 M 设计了总共 11 种动态子帧窗口配比情况, 分别为 [DDDDDDDDDD]、[DDDDDDDDDU]、[DDDDDDDDUU]、[DDDDDDUUUU]、[DDDDUUUUUU]、[DDUUUUUUUU]、[UUUUUUUUUU]。具体过程如下。在 $TTI=1$ 时刻, 初始化 DL 帧为默认子帧。之后每隔 10 个 TTI 时刻分别统计各 LAA 基站下所有附着的 UE 在上下行缓存中的待传总比特数, 得到上下行业务量比例 M , 然后从 11 种动态子帧窗口配比中选择上下行子帧比例最接近 M 的子帧窗口配比来配置 4 个 TTI 之后的 10 个子帧 (例如: 当前 $TTI=2$ 时的上下行待传比特数比值为 $2/3$, 则将第 6~15 个子帧配置为 [DDDDDDUUUU], 之后在 $12TTI$ 时刻根据当前的上下行总比特数比值配置第 16~25 个子帧, 依次类推)。流程如图 4 所示。11 种新的子帧选择配置过程如下所述。

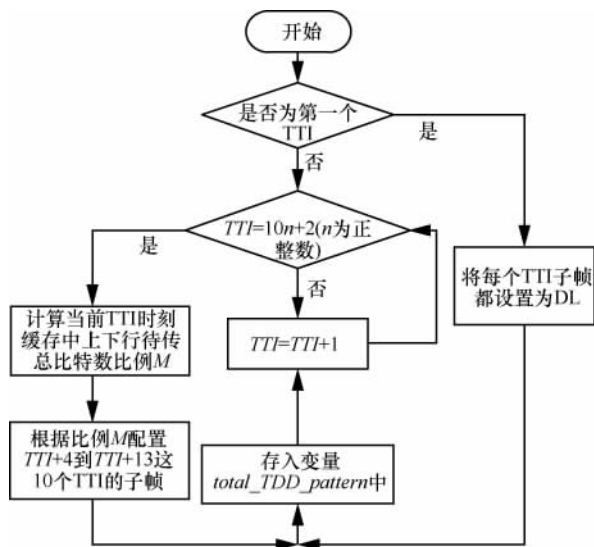


图4 周期性子帧动态配置算法流程

算法1 子帧选择配置算法

输入 LAA 基站数目 N , 上行待传业务占比 M

输出 LAA 基站的子帧配置

for $i=1:N$

获得基站 LAA(i) 的上行待传业务量占比 $M(i)$;

if $M(i)$ 大于或等于 0 并且小于或等于 $1/20$

基站 LAA(i) 的子帧配置为配置一 [DDDDDDDDDD];

else if $M(i)$ 大于或等于 $1/20$ 并且小于或等于 $3/20$

基站 LAA(i) 的子帧配置为配置二 [DDDDDDDDDU];

else if $M(i)$ 大于或等于 $3/20$ 并且小于或等于 $5/20$

基站 LAA(i) 的子帧配置为配置三 [DDDDDDDDUU];

...

else if $M(i)$ 大于或等于 $17/20$ 并且小于或等于 $19/20$

基站 LAA(i) 的子帧配置为配置十 [DUUUUUUUUU];

else

基站 LAA(i) 的子帧配置为配置十一 [UUUUUUUUUU];

end if

end for

两种动态子帧配置算法的最大不同点是两者的子帧重配周期和子帧配置窗口大小,连续子帧动态配置算法中每个 TTI 时刻都会对之后的子帧进行重配且每次只配置一个子帧,而周期性子帧动态配置算法以 $10TTI$ 时长为周期配置子帧且每次配置 10 个子帧。相比于连续子帧动态配置算法,周期性子帧动态配置算法可以有效减少数据传输过程中连续 UL 帧或连续 DL 帧的情况。与传统的静态子帧配置相比,这两种动态子帧配置算法的子帧配置更加灵活,更加匹配当前信道的上下行业务量情况,但是因为子帧配置变化频繁,导致信令开销增大,而且对于新的子帧配置,需要对 HARQ 时序进行重新设计。而静态子帧配置在很长一段时间内子帧配置都保持不变,信令开销小,但是不能适应多变的上下行业务量情况。

4 仿真分析

根据 3GPP 研究报告 TR36.889 中的仿真要求和参数^[10],搭建了一个基于 MATLAB 平台的不同运营商在非授权频段以 LAA 方式共存的系统级仿真平台。仿真平台的模块包括参数初始化、网络生成、信道初始化、路径损耗计算^[11]、小区选择、业务生成、信道检测、CQI(channel quality indicator,信道质量指示)反馈、调度、数据发送与接收和仿真结果输出等。平台采用时间驱动的动态仿真机制,按照固定的时隙工作,更新用户的信道衰落、干扰水平,对用户进行实时调度。给出了针对非授权频谱下 TDD 动态子帧配置模型的仿真参数和仿真方法,并仿真评估两种动态子帧配置算法的性能。

4.1 仿真场景

由于仿真场景 macro(宏)小区与 LAA 小区是异频组网,可以不用考虑宏小区对 LAA 系统的影响,因此本文生成的 7 个宏小区只是为了固定 LAA 基站的位置。所有的 LAA 基站只在中心的宏小区的每个扇区中以簇的形式生成,每个扇区中有一个簇,每个簇中有 8 个 LAA 基站(4 个属于运营商 1,4 个属于运营商 2),如图 5 所示,允许 LAA 小区的覆盖范围出现部分重合,但是必须保证 LAA 基站之间的最小距离不小于 50 m,用户设备(UE)在簇内均匀分布,每个簇内有 60 个 UE。具体的仿真参数参照第 4.2 节。

4.2 仿真假设

给出了部分仿真假设,见表 2。
采用比例公平调度算法^[13],基本思想是在选择用户时

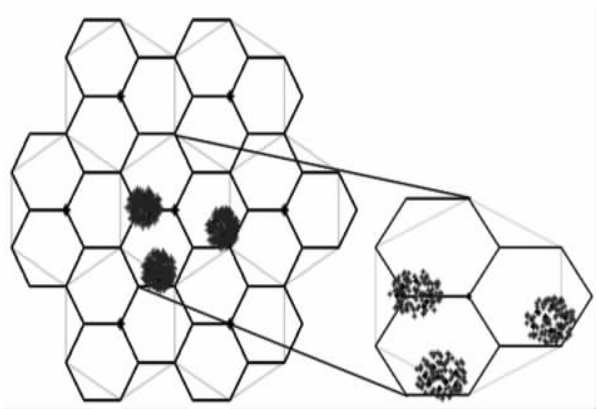


图 5 仿真场景说明

表 2 仿真参数配置

参数	假设
小区拓扑结构	7 小区,正六边形部署,3 扇区/小区,1 个簇(2 个运营商)/扇区,4 个 LAA 基站/运营商/簇
系统带宽	20 MHz,单载波
载波频率	5 GHz
微基站发射功率	18 dBm
UE 发射功率	18 dBm
簇内微基站的半径	50 m
每个簇内 UE 的距离	同运营商之间大于 3 m,异运营商间大于 10 m
UE 噪声参数	9 dB
路径损耗	微基站—微基站,微基站—用户: TR 36.814 ^[12] ITU Umi; 用户—用户: TR 36.843(D2D)
穿透损耗	室外: 0 dB 室内: 27 dB+0.5 din(din 是 [0, min(25, 用户到微基站的距离)的一个随机数值])
阴影衰落	ITU Umi(参照 TR 36.814 表 B.1.2.1-1)
天线配置	下行: 2Tx 2Rx 上行: 1Tx 2Rx
天线高度	10 m
UE 天线高度	1.5 m
天线增益+连接器损耗	5 dBi
UE 天线增益	0 dBi
传输机制	下行: TM4, QPSK/16QAM/64QAM 上行: TM1
调度模型	PF
CCA-ED	-62 dBm
业务模型	FTP3, 分组大小为 0.5 MB

考虑瞬时速率和长期平均速率的比值,同时利用权重值对不同用户进行调整,达到同时兼顾系统性能和用户体验的目的。比例公平算法的数学表达式可以参考式(2),其中,



k 是被调度用户, $R_i(t)$ 为用户 i 在 t 时刻请求的速率, $T_i(t)$ 为用户 i 在 t 时刻的累积平均速率。

$$k = \arg \max \frac{R_i(t)}{T_i(t)} \quad (2)$$

4.3 仿真结果

在仿真中,根据采用静态子帧配置还是动态子帧配置策略,设计以下 3 种仿真方案。

方案一:基础方案(baseline),静态 TDD,所有的 LAA 小区均采用静态子帧配置,选择 7 种传统静态子帧配置中的配置 4 作为基准配置。

方案二:动态 TDD1,采用连续子帧动态配置算法来实现动态 TDD 技术,子帧重配周期为 1 ms。

方案三:动态 TDD2,采用周期性子帧动态配置算法来实现动态 TDD 技术,子帧重配周期为 10 ms。

图 6 是用户的平均上下行吞吐量柱状图。图 7 是高负载情况下用户的上下行时延 CDF 曲线。由图 6 容易发现,采用动态子帧配置方式相对于传统的静态子帧配置方式确实可以带来一定的吞吐量增益,特别是对于上行用户吞吐量有很大的提升。总体来说,在低负载的情况下,动态子帧配置方式对上下行的用户吞吐量都有很大的提升;但是在高负载的条件下,动态子帧配置方式下用户吞吐量的大小与静态子帧配置基本相等,甚至动态子帧配置方式下的用户下行平均吞吐量小于静态子帧配置条件下的用户下行平均吞吐量。观察图 6,可以发现,无论上行信道还是下行信道,随着负载量的增加,3 种子帧配置方式的用户平均吞吐量依次下降,但是动态子帧配置方式的用户平均吞吐量下降的趋势更加明显。如果继续提高负载量,动态子帧配置的用户上下行总吞吐量必会低于传统的静态子帧配置方式,这很可能是由于动态子帧配置产生的交叉子帧干扰造成的。当低负载时,处于激活状态的基站较少,产生的交叉子帧干扰也不是很大;当高负载时,处于激活状态的基站明显增多,就会有严重的交叉子帧干扰,完全抵消了动态子帧配置算法带来的吞吐量增益。比较图 7 的用户上下行时延 CDF 曲线,动态子帧配置算法的时延比静态子帧配置时更大,这可能是由于动态子帧配置情况下连续 DL 或连续 UL 现象造成的,而动态 TDD2 的时延比动态 TDD1 的时延小,但是仍然比静态子帧配置条件下的时延大,这说明周期性子帧动态配置算法相比于连续子帧配置算法,可以有效减少数据传输过程中的连续 DL 帧或连续 UL 帧的情况,与预期相符。

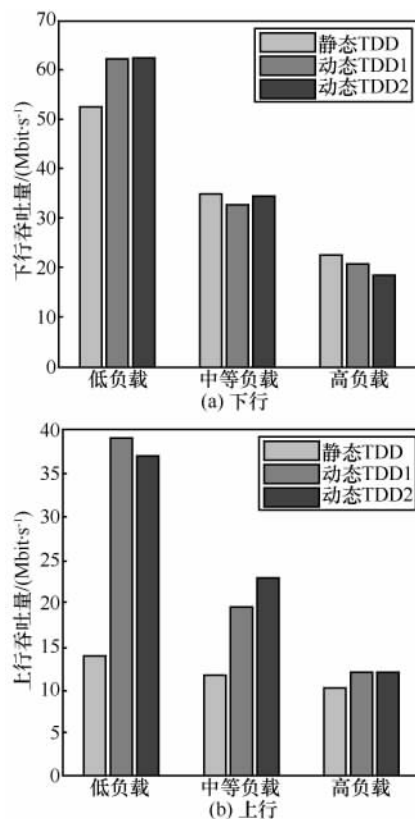


图 6 用户上下行平均吞吐量

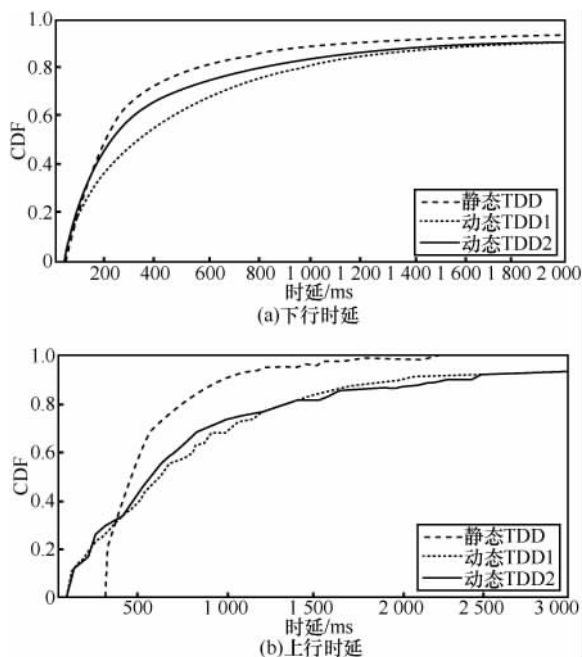


图 7 高负载时上下行时延

5 结束语

本文提出了两种非授权频段上 LAA 基站的动态子帧配

置算法。两种算法可以根据当前信道的瞬时业务量情况来动态配置上下行子帧,与传统的静态子帧配置相比较,可以有效提升系统性能。仿真结果显示,动态子帧配置策略对上行吞吐量有明显增益,在低负载的情况下,对上下行的总吞吐量也有明显增益,但是在高负载的情况下,严重的交叉子帧干扰完全抵消了动态子帧配置算法带来的吞吐量增益。所以接下来非授权频段上动态 TDD 技术的研究重点会放在减小高负载条件下交叉子帧干扰对 LAA 系统的影响上。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on licensed-assisted access using LTE: RP-14146[S]. 2014.
- [2] GHOSH A, RATASUK R, MONDAL B, et al. LTE-advanced: next-generation wireless broadband technology [J]. IEEE Wireless Communications, 2010, 17(3): 10-22.
- [3] KHORYAEV A, CHERVYAKOV A, SHILOV M, et al. Performance analysis of dynamic adjustment of TDD uplink-downlink configuration in outdoor picocell LTE networks[C]// IEEE International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshop (ICUMT), October 3-5, 2012, St.Peterburg, Russia. New Jersey: IEEE Press, 2012: 914-921.
- [4] 李原草, 高月红, 张欣. 动态 TDD 在 LTE 异构网络下的性能分析[J]. 移动通信, 2013(8): 175-178.
LI Y C, GAO Y H, ZHANG X. Dynamic TDD LTE under heterogeneous network performance analysis [J]. Journal of Mobile Communications, 2013 (8): 175-178.
- [5] CATANIA D, SARRET M G, CATTONI A F, et al. The potential of flexible UL/DL slot assignment in 5G systems[C]// 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference(VTC Fall), September 14-17, 2014, Vancouver, USA. New Jersey: IEEE Press, 2014: 1-6.
- [6] 王映民, 孙韶辉. TD-LTE 技术原理与系统设计 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 56-57.
WANG Y M, SUN S H. LTE principle and system design [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2010: 56-57.
- [7] 3GPP. Physical channels and modulation: TS36.211v9.1.0[S]. 2012.
- [8] 邓一伟, 申敏, 张晨璐, 等. LAA 信道检测机制研究与仿真[J]. 移动通信, 2015, 39(22): 40-44.
DENG Y W, SHEN M, ZHANG C L, et al. The LAA channel detection mechanism research and simulation[J]. Journal of Mobile Communications, 2015, 39 (22): 40-44.
- [9] 3GPP. Discussion on LAA issues: R2-150548, HTC[S]. 2015
- [10] 3GPP. Study on licensed-assisted access to unlicensed spectrum: TR 36.889[S]. 2014.
- [11] 李忻, 聂在平. MIMO 信道中衰落信号的空域相关性评估[J]. 电子学报, 2004(12): 14-18.
LI X, NIE Z P. Space correlation evaluation of fading signal in MIMO channel [J]. Journal of Electronics, 2004(12): 14-18.
- [12] 3GPP. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects: TR36.814 v9.0.0[S]. 2012.
- [13] ANIBA G, AISSA S. Adaptive proportional fairness for packet scheduling in HSDPA [C]//IEEE Global Telecommunications Conference, November 29-December 3, 2004, Alcatel, USA. New Jersey: IEEE Press, 2004: 4033-4037.

[作者简介]



姜炜(1992-),男,重庆邮电大学通信与信息工程学院硕士生,主要研究方向为 LTE-Advanced pro(4.5G)/5G LAA 技术、干扰协调技术。



刘是梹(1992-),男,重庆邮电大学通信与信息工程学院硕士生,主要研究方向为 LTE-Advanced pro(4.5G)/5G LAA 技术、HARQ 技术。



胡恒(1992-),男,重庆邮电大学通信与信息工程学院硕士生,主要研究方向为 5G 移动通信技术中的 V2X 技术、D2D 技术。



张晨璐(1982-),男,宇龙计算机通信科技(深圳)有限公司高级工程师,主要研究方向为 LTE-Advanced pro(4.5G)/5G 标准化研究、车联网技术、D2D 技术等。