



动态 TDD 技术 HARQ 时序冲突的解决方案

张刚, 刘是泉, 姜炜, 胡恒

(重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065)

摘要: 动态 TDD 技术的引入不仅能够很好地解决突发性业务需求增长较快的问题, 还能提升小区通信系统的服务质量。在动态 TDD 系统中, 无线帧配置可以通过系统中的负载量来改变。但是一些子帧可能会在重配后改变传输方向, 导致一些 HARQ 进程出现时序冲突, 影响系统性能。为了解决动态 TDD 系统中的 HARQ 时序冲突问题, 提出了一种基于过渡无线帧的混合自动重传方案。当重配周期到来时, 在重配点后增加一个过渡无线帧, 使得 HARQ 时序以一种较简单、时序冲突较少的方式过渡到重配后的无线帧。在 LTE 系统仿真平台上建立 HARQ 模型进行性能验证, 仿真结果表明, 所提方案能有效地提升系统资源利用率, 并给系统平均吞吐量带来增益。

关键词: 动态 TDD; 混合自动重传; 过渡无线帧; 时序冲突

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2017078

Solution of HARQ timing collision in dynamic TDD technology

ZHANG Gang, LIU Shixiao, JIANG Wei, HU Heng

School of Communication Engineering, Chongqing University of Posts & Telecommunications, Chongqing 400065, China

Abstract: Dynamic TDD system was introduced to satisfy the increasing business requirement and improve the system performance. In the dynamic TDD system, the frame configuration can be changed based on the traffic load. Since some subframes may change their transmission direction after reconfiguration, some HARQ process will become useless. In order to solve the collision problem of HARQ timing in dynamic TDD system, hybrid automatic retransmission scheme based on transitional radio frame was proposed. A radio frame will be added after the reconfiguration point. HARQ timing can transit to the reconfigured frame in a simple way with few collisions. Performance evaluation was provided to show the effectiveness of the scheme. Using the proposed scheme can bring benefits to the system average throughput and improve the system resource utilization rate.

Key words: dynamic TDD, hybrid automatic retransmission, transitional radio frame, timing sequence collision

1 引言

异构网络 (heterogeneous network, HetNet) 中的微基站具有发射功率小、服务范围小、部署

灵活等特点, 能够提升人口密集区域和宏小区边缘的用户体验^[1]。不仅如此, 在异构网络中还能够借助非授权频谱资源来提升系统容量^[2]。但是异构网络中上下行业务具有很强的突发性, 传统

的静态配置上下行子帧的方式已经不适合使用在异构网络中,否则将会造成巨大的资源浪费。因此,第三代合作项目(Third Generation Partner Project, 3GPP)深入讨论了在异构网络中运用动态 TDD 技术的可行性^[3],通过快速改变子帧传输方向来适应小区中业务的需求,进而提升资源利用率和系统容量。目前 5G 通信系统正在标准化进程中,主要的应用场景有增强型移动宽带、低时延高可靠性通信以及大规模机器通信^[4]。未来,5G 能够覆盖的场景将更加多元化、复杂化,动态 TDD 技术凭借其先天的优势也能更好地服务于 5G 用户。

动态 TDD 技术的引入会带来一些新的问题,其中包括子帧交叉干扰问题。参考文献[5]通过检测每个基站和每个终端所受干扰的来源,将相互干扰较为严重的基站或者终端分在一个簇中,使用相同的无线帧配置,这样就能降低子帧交叉干扰的程度。此外,还包括在子帧重配点前后混合自动重传请求(hybrid automatic repeat request, HARQ)时序冲突的问题。跨越重配点的 HARQ 进程可能会因为子帧传输方向的改变而无法发送上下行数据确认信息(ACK/NACK),导致时序冲突。参考文献[6]利用重配点前后无线帧配置中上下行子帧交/并集的关系来确定跨越重配点的时序。基于时序调整的方案是将发生混乱的时序向后延时到最近的一个可用子帧;而基于进程缩减的方案是在重配点来临时刻强制丢弃未传输成功的 HARQ 进程,被丢弃的用户数据交由高层的 ARQ (automatic repeat request) 机制进行重传,这样就不会存在跨越重配点的时序,避免了冲突^[7]。

针对动态 TDD 系统中 HARQ 时序冲突的问题,提出了一种基于过渡无线帧的方案。在相关的学术领域中,过渡无线帧也有广泛的应用。比如在声学中,过渡无线帧可以在低码率编码情况下用来合成语音^[8];在图像处理时,过渡无线帧可以用于镜头边界检测技术^[9]。而在本文中,在

重配点后增加一段过渡无线帧,使得重配点前的 HARQ 时序以较简单、时序冲突较少的方式过渡到重配点后的 HARQ 时序。从仿真结果来看,该方案会给系统上下行平均吞吐量带来增益。

2 HARQ 时序

2.1 TD-LTE 系统中的 HARQ 时序

在传统的 TD-LTE 系统中,支持 7 种固定的上下行子帧配置:DSUUUDSUUU、DSUUDDSUUD、DSUDDDSUDD、DSUUUDDDD、DSUDDDDDD、DSUDDDDDD、DSUUUDSUUD^[10]。这 7 种子帧配置有各自对应的 HARQ 时序。其中,字母‘D’代表下行子帧,‘U’代表上行子帧,‘S’代表转换特殊子帧。3GPP 标准 TS36.213 中规定下行采用异步 HARQ,接收端预先不知道重传发生的时刻,因此在异步 HARQ 中需要有信令指示当前传输的 HARQ 进程号;上行采用同步 HARQ, HARQ 进程的传输和重传发生具有固定的时序关系。

3GPP 协议 TS36.213 的第 7 章中规定了下行 HARQ 时序,见表 1^[11]。表 1 单元格中的数字设为 k ,其中 k 代表:如果下行数据在子帧号为 n 的子帧中传输并且 $n+k < 10$,则其对应的 ACK/NACK 信息将会在子帧号为 $n+k$ 的子帧中反馈;如果 $9 < n+k < 20$,则在当前无线帧之后的第一个无线帧中子帧号为 $(n+k)\%10$ (% 是求余符号)的子帧中反馈 ACK/NACK 信息;如果 $n+k > 19$,则在当前无线帧之后的第二个无线帧中子帧号为 $(n+k)\%10$ 的子帧中反馈 ACK/NACK 信息。表 2 给出了 3GPP 协议 TS36.213 中第 9 章的上行 HARQ 时序,其中单元格中的数字设为 $-k_1$ 、 k_2 、 k_3 , $-k_1$ 、 k_2 、 k_3 分别代表:如果上行数据在子帧号为 n 的子帧上传输,则相应的调度信令在子帧号为 $n-k_1$ 的子帧中传输,上行数据对应的 ACK/NACK 信息在子帧号为 $n+k_2$ 的子帧中传输,同步重传子帧的子帧号是 $n+k_3$ 。若 $n-k_1 < 0$,



则在前一个无线帧中子帧号为 $n - k_1 + 10$ 的子帧中传输调度信令；若出现 $9 < n + k_2 < 20$ 、 $9 < n + k_3 < 20$ 、 $n + k_2 > 19$ 或 $n + k_3 > 19$ 的情况，则与下行处理方式一致。

表 1 TD-LTE 下行 HARQ 时序配置

配置号	子帧号 n									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
#0	4	6				4	6			
#1	7	6			4	7	6			4
#2	7	6		4	8	7	6		4	8
#3	4	11				7	6	6	5	5
#4	12	11			8	7	7	6	5	4
#5	12	11		9	8	7	6	5	4	13
#6	7	7				7	7			5

2.2 动态 TDD 的 HARQ 时序冲突

动态 TDD 下行 HARQ 时序冲突实例如图 1 所示。根据表 1 中配置#3 的下行时序规则，9 号子帧发送的下行数据所对应的 ACK/NACK 反馈应当在下一个无线帧的 4 号子帧上传输，但是从

图 1 中可以看出，重配后的无线帧是配置#4，4 号子帧的传输方向相对于重配前发生了改变，不能传输相应的 ACK/NACK 反馈，因此导致了时序冲突。

上行 HARQ 进程同样存在时序冲突，如图 2 所示。根据表 2 中配置#1 和配置#2 的上行时序规则，重配后配置#1 中 2 号上行子帧应该收到上一个无线帧 6 号子帧发来的调度信令，但是配置#2 中的 6 号子帧不会发送调度信令，反而配置#1 中的 2 号子帧收到了重配前配置#2 中 8 号子帧发来的调度信令 UL grant 3，所以它能顺利传输上行数据。重配后配置#1 中的 3 号子帧传输方向相对于重配前发生了改变，根据表 2 中配置#1 的时序规则，3 号上行子帧应该收到上一个无线帧 9 号子帧发送的调度信令，但是配置#2 中的 9 号子帧不会发送调度信令，导致配置#1 中的 3 号子帧不能传输上行数据，造成了资源浪费。而根据表 2 中配置#2 的时序规则，7 号子帧传输的上行数据对应的 ACK/NACK 信息应该在下一个无线帧的 3 号子帧反馈，而重配后配置#1 的 3 号子帧传输方向相

表 2 TD-LTE 上行 HARQ 时序配置

配置号	子帧号 n									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
#0			-6/4/11	-7/7/11	-4/6/13			-6/4/11	-7/7/11	-4/6/13
#1			-6/4/10	-4/6/10				-6/4/10	-4/6/10	
#2			-4/6/10					-4/6/10		
#3			-4/6/10	-4/6/10	-4/6/10					
#4			-4/6/10	-4/6/10						
#5			-4/6/10							
#6			-7/4/11	-7/6/11	-5/6/13			-7/4/11	-7/7/14	

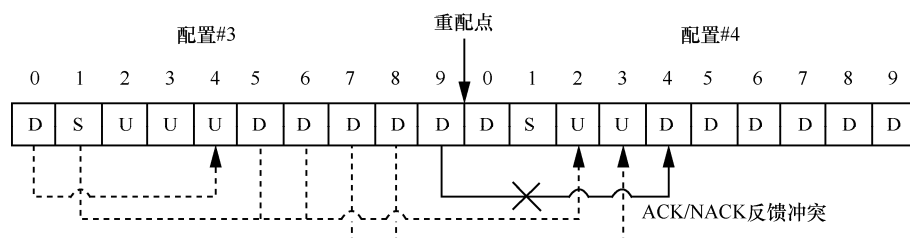


图 1 动态 TDD 下行 HARQ 时序冲突

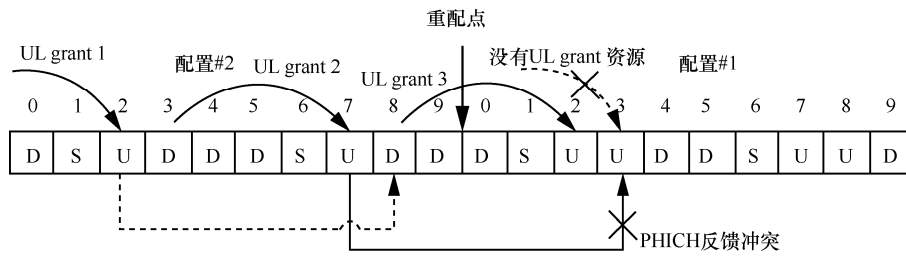


图 2 动态 TDD 上行 HARQ 时序冲突

对于重配前发生了改变,不能进行 ACK/NACK 反馈,造成了上行时序冲突。

3 基于过渡无线帧的方案

过渡无线帧是指始于重配点的一个无线帧,位于重配点前后两个无线帧之间。过渡无线帧能使 HARQ 时序以一种较简单、时序冲突较少的方式过渡到重配后的无线帧,从而获得更大的中长期系统整体增益。

3.1 过渡无线帧的选择

由于异构网络中上下行业务量的变化速度非常快,重配后的无线帧可能是任何一种配置。所以过渡无线帧应该尽量适应所有的重配情况,重配点之前的无线帧到过渡无线帧以及过渡无线帧到重配后的无线帧应尽量不出现或者较少出现 HARQ 时序冲突问题。

上下行 HARQ 时序冲突统计见表 3。由表 3 可知,上行的时序冲突情况要少于下行的时序冲突,只有从配置#1 或者配置#2 重配到其他配置时才可能存在 HARQ 进程时序冲突。下行的时序冲突比较多,但是任何一种配置在重配时刻重配到配置#0 和配置#6 时都不会发生冲突。从配置#0 过渡到其他任何一种配置同样也不会存在时序冲突。虽然从配置#6 过渡到其他配置可能发生冲突,但是从表 1 配置#6 的时序规则中可以找到,发生冲突的仅有 9 号子帧,所以只需要修改小部分的时序即可。在统计的上行时序冲突信息中,配置#0 和配置#6 重配到任何一种配置同样不会出现时序冲突的情况。虽然配置#1 和配置#2 重配到配置

#0 或者配置#6 存在时序冲突的情况,但是从表 2 的时序信息中可以看出,发生时序冲突的是配置#1 的 8 号子帧以及配置#2 的 7 号子帧,所以同样需要修改小部分的时序即可。所以理论上分析过渡无线帧的最佳对象是配置#0 和配置#6。

表 3 上下行 HARQ 时序冲突统计

配置号	下行时序冲突的配置编号	上行时序冲突的配置编号
#0	/	/
#1	#2、#5	#0、#3、#6
#2	#3、#4、#5	#0、#1、#3、#4、#6
#3	#1、#2、#4、#5	/
#4	#2、#5	/
#5	/	/
#6	#1、#2、#4、#5	/

3.2 详细方案

由于过渡无线帧的存在, HARQ 进程的时序在重配时刻就要经历两个过渡时段:一个是从重配前到过渡无线帧的时段,另一个是从过渡无线帧到重配后的时段。而在非重配点时刻,上下行 HARQ 时序依然使用 TD-LTE 系统中的时序规则操作。

(1) 重配点前后的上下行反馈时序

两个时段的上下行时序应遵循以下几点。

- 重配点前的上下行 HARQ 时序应按照重配前的无线帧在 TD-LTE 系统中定义的时序操作。
- 从重配点前无线帧跨越到过渡无线帧的上下行 HARQ 时序,按照重配点前无线帧在 TD-LTE 系统中定义的时序关系进行操作;



由于过渡无线帧中的子帧传输方向发生改变而发生时序冲突时,则将发生冲突的时序调整到最近一个符合条件的子帧上。

- 过渡无线帧中的上下行 HARQ 时序按照过渡无线帧在 TD-LTE 系统中定义的时序操作。
- 从过渡无线帧跨越到重配后无线帧的上下行 HARQ 时序,按照过渡无线帧在 TD-LTE 系统中定义的时序关系进行操作;由于重配后无线帧的子帧传输方向发生改变而发生时序冲突时,则将发生冲突的时序调整到最近一个符合条件的子帧上。
- 重配后无线帧中的上下行 HARQ 时序按照重配后子帧配置在 TD-LTE 系统中定义的时序操作。

基于过渡无线帧的下行 HARQ 反馈时序实例如图 3 所示。实例中是配置#1 重配到配置#2,过渡无线帧是配置#0。根据表 1 中配置#1 的下行时序,配置#1 中 9 号子帧发送的数据对应的 ACK/NACK 反馈信息应该在过渡无线帧的 3 号子帧上发送,过渡无线帧的 3 号子帧的传输方向是上行,所以不会发生时序冲突。根据表 1 中有关配置#0 的下行时序,过渡无线帧的 1 号子帧所传输的下行数据对应的 ACK/NACK 反馈信息应该在过渡无线帧的 7 号子帧上传输;过渡无线帧的 6 号子帧所发送的下行数据对应的 ACK/NACK 反馈信息将在无线帧 2 的 2 号子帧上发送。

(2) 重配点前后上下行最大支持的进程数

TD-LTE 系统中的 7 种无线帧配置都有上下行最大支持的进程数。当进行动态 TDD 重配后,上下行最大支持的进程数可能增加或者减少。在

从重配点前到过渡无线帧的时段中,如果重配前无线帧配置支持的最大 HARQ 进程数大于过渡无线帧所支持的最大进程数,则需要丢弃一些 HARQ 进程,强制反馈 ACK 信息,而实际上没有传输成功的进程就会交由高层进行 ARQ 重传;如果重配前无线帧配置支持的最大 HARQ 进程数小于过渡无线帧所支持的最大进程数,则不做改变。

由于过渡无线帧的存在,一些没有被丢弃并且未完成传输的 HARQ 进程又多了一次传输的机会,大大增加了传输成功的概率。而从过渡无线帧跨越到重配后的配置时,如果过渡无线帧所支持的最大进程数小于重配后无线帧配置支持的最大 HARQ 进程数,则需要在重配后的无线帧开启若干个新的 HARQ 进程;若过渡无线帧所支持的最大进程数大于重配后子帧配置的最大 HARQ 进程数,则需要将多余的进程强制反馈接收成功,而实际上没有传输成功的进程则交由高层进行 ARQ 重传。

利用上行 HARQ 时序列举了一个实例,如图 4 所示。在 TD-LTE 系统中,配置#1、配置#0 和配置#5 支持的最大上行 HARQ 进程数分别是 4、7 和 1。在图 4 的实例中,在重配前到过渡无线帧的时段中,配置#1 最大支持的上行 HARQ 进程数小于过渡无线帧所支持的最大上行 HARQ 进程数,所以进程数不做改变,进程 1 到进程 4 都得到了更多一次的传输机会;而从过渡无线帧跨越到重配后的无线帧时段,配置#5 最大支持的上行 HARQ 进程数小于过渡无线帧所支持的最大上行 HARQ 进程数,所以进程 2、进程 3 和进程 4 都强制反馈接收成功,只有进程 1 继续操作在无线帧 2 上。

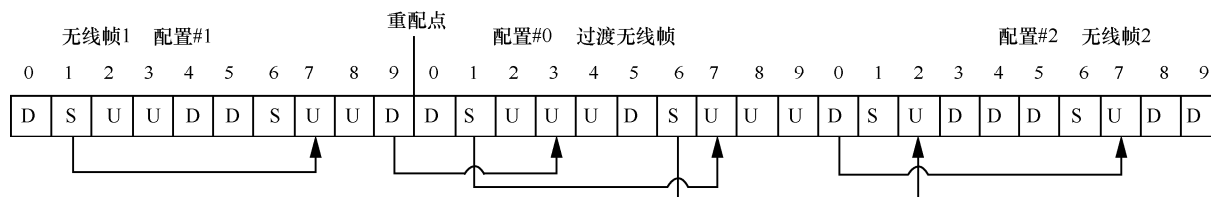


图 3 基于过渡无线帧的下行 HARQ 反馈时序实例

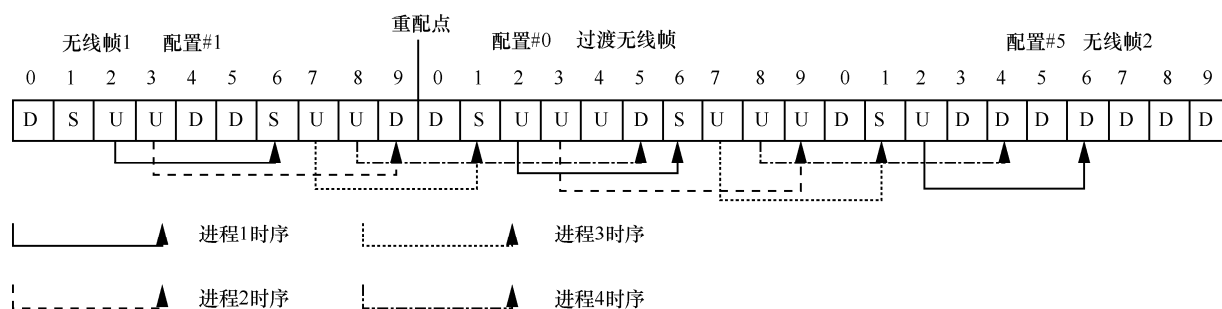


图4 进程数量变化实例

(3) 重配点前后上行调度信令

如果在两个时段出现了图2中上行资源浪费的情况,则需要增加若干个上行调度信令时序到最近符合要求的下行子帧。由于配置#0是上行资源最多的一种配置,所以它的上行调度信令充足,从过渡无线帧跨越到任何一种配置都不会出现上行资源浪费的情况,图5中上行调度信令时序实例的情况也是如此。根据表2中配置#2的时序规则,配置#2的2号上行子帧应该收到上一个无线帧8号子帧发送的调度信令,但是过渡无线帧中8号子帧的传输方向是上行,不能发送调度信令。但是根据表2中配置#0的时序规则,6号子帧会为下一个无线帧中2号上行子帧发送调度信令UL grant 4,所以配置#2中的2号上行子帧仍然可以发送上行数据。而重配点前的配置#5只会在8号子帧发送调度信令UL grant 1,用来调度过渡无线帧中的2号上行子帧。而过渡无线帧中的3号子帧理应收到重配前配置#5中6号子帧发送的调度信令,但是根据表2中配置#5的时序规则,6号子帧不会发送调度信令,这样就造成了过渡无线帧3号上行子帧的资源浪费。所以新增一个调度信令时序,由重配点前配置#5的9号子帧发

送调度信令UL grant 2,用来调度过渡无线帧中的3号子帧。

4 仿真模型与结果分析

4.1 仿真模型

由于动态TDD技术大多被应用在异构网络的微小区中,所以借鉴3GPP协议中微基站的撒点方式、相应的路径损耗和阴影衰落的计算方式建立仿真模型^[12,13]。模型的主要拓扑结构是:在一个宏基站所覆盖的3个扇区内以簇的方式进行微基站撒点,在每个扇区的簇中随机生成8个微基站;每一个簇中又需要随机生成20个终端。仿真中的系统带宽设置为20 MHz,信道模型为加性高斯白噪声信道模型,调度方式采用公平调度算法,而业务模型为FTP 3模型,一个数据分组的大小为0.5 MB。

在完成基本的网络模型后搭建动态TDD模式下的HARQ模块。每种配置在重配点未到来时按照协议中的HARQ时序运行,在重配点过后立刻变换时序。每一次HARQ进程数据传输成功,反馈“1”;否则,反馈“0”。判定数据是否传输成功通过接收端的接收信噪比计算得到。另外,

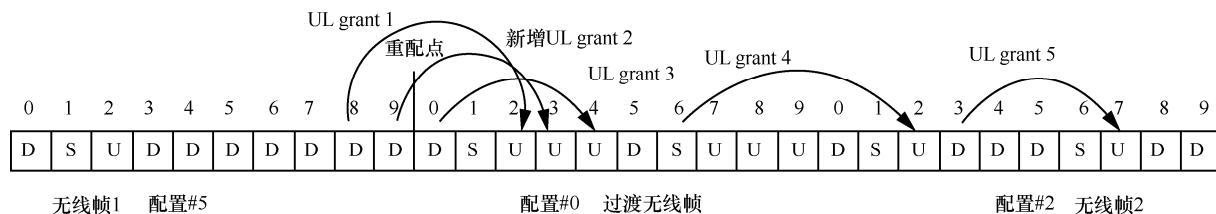


图5 上行调度信令时序实例



每一个 HARQ 进程的最大重传次数为 4 次^[14]。动态 TDD 的重配周期有很多种选择,最常见是 10 ms、40 ms、200 ms 以及 640 ms^[15]。本文仿真中用到的重配周期为 40 ms。最后,将基于时序调整的方案、基于进程缩减的方案以及基于过渡无线帧的方案都添加到仿真中,对比 3 种解决方案的优劣性。

4.2 仿真结果分析

由于 HARQ 进程的时序冲突以及上行资源浪费总是发生在重点前后,它们的存在会影响系统的吞吐量,所以在仿真中主要统计无处理、基于时序调整方案、基于进程缩减方案以及基于过渡无线帧方案 4 种情况下的系统上下行平均吞吐量。在搭建仿真模型时,当一个 HARQ 进程在重配点时段发生冲突时,则将此次传输的数据置为传输失败。由于仿真主要集中在物理层,因而在搭建基于进程缩减方案的模块时,没有高层 ARQ 的过程,将强制结束的 HARQ 进程记为传输成功。仿真中用到的过渡无线帧为配置#0,相应的仿真结果如图 6 所示。其中横坐标表示每个手机终端每秒产生的业务量,代表的是网络中的负载量;纵坐标表示系统的平均吞吐量。

从图 6 看,当采用基于时序调整方案和基于过渡无线帧方案时,系统的上下行平均吞吐量在低负载时有明显增益;但当采用基于进程缩减方案后,系统的上下行平均吞吐量出现了下降。随着系统中负载量的增长,4 种情况下的系统上下行平均吞吐量变化都呈现下降趋势,数值差距也越来越小。在高负载的情况下,3 种解决方案下的系统平均吞吐量与无处理时的数据差别不大。

当系统中的负载量较低时,信道状况较好, HARQ 进程的数据传输成功率很大,而且每个进程传输的数据量比较大,业务传输所用的总时间较短。当采用基于时序调整方案和基于过渡无线帧方案时,重配点不会产生时序冲突,相对于无处理时的情况能够缩短一些业务传输的总时间,这对最终

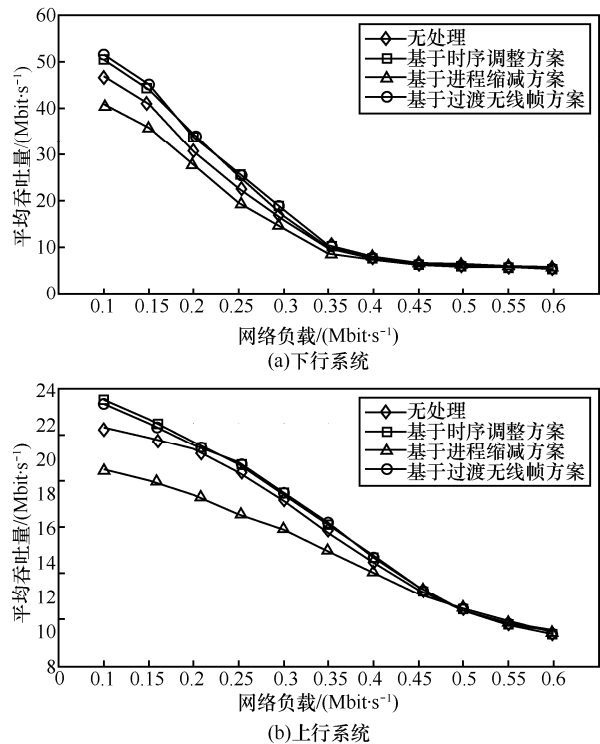


图 6 上下行系统平均吞吐量对比

系统平均吞吐量的结果影响是很大的,因此采用这两种方案在低负载时会有明显的增益。但是当采用基于进程缩减的方案时,在重配点来临之前会强行停止相应的 HARQ 进程,导致并没有跨越重配点的时序,一些重配后的子帧不会反馈 ACK/NACK 信息,这样就造成了资源浪费,还会增加业务传输的总时间,并对吞吐量产生影响。虽然无处理时会存在时序冲突,但是也可能存在不产生冲突时序的情况,在总的业务传输时间上是优于基于进程缩减方案的,所以在低负载时基于进程缩减的方案相对于无处理时会产生负增益。

当系统中的负载量不断上升时,网络变得越来越拥挤,信道状况变差,每一次 HARQ 进程传输的数据量减少,导致一个数据分组的传输时间越来越大。在这样的背景下,重配点前后是否存在 HARQ 时序冲突、资源是否浪费对业务传输总时间的影响变得很小,对系统平均吞吐量的影响也很小。所以在中高负载时,4 种情况下系统吞吐量的差距就越来越小,渐渐地趋于一致。

基于时序调整方案虽然思路简单,并且在仿真结果上与本文提出的基于过渡无线帧方案相似,但是在实现过程中需要对每一种重配关系预先定义重配的时序,在 TD-LTE 系统中有 7 种无线帧配置,重配点前后的组合就有 49 种,因此需要预定义 49 种重配时序,这样会带来较高的实现复杂度和信令开销;而基于进程缩减方案虽然避免了大量地修改 HARQ 时序,却在重配点强制停止了很多 HARQ 进程,交由上层进行 ARQ 重传,这样带来的后果就是重配点后的一些子帧不会反馈相应的 ACK/NACK 信息,造成了资源浪费,增大了业务的传输时间,带来了较大的传输时延,降低了用户体验^[5]。这些劣势也在仿真结果中得到了体现,基于进程缩减方案下的系统平均吞吐量基本都比无处理时的情况差,只有当负载量较高时才几乎持平。

5 结束语

在异构网络中,动态 TDD 技术能够对小区系统容量、资源利用率和用户体验产生积极的影响。针对动态 TDD 技术下无线帧重配时刻存在的 HARQ 进程时序冲突问题,提出了一种基于过渡无线帧的解决方案。在无线帧重配点之后立即插入一个过渡无线帧,使得跨越重配点的 HARQ 进程时序平稳地过渡到重配之后的无线帧。并将基于时序调整方案和基于进程缩减方案作为参考进行仿真分析,仿真结果表明,在低负载时,基于过渡无线帧方案和基于时序调整方案会给系统平均吞吐量带来明显增益,两者的增益幅度相差不大;基于进程缩减方案在性能上要略差,给系统平均吞吐量带了负增益;随着负载量的增大,3 种方案对于系统吞吐量的影响变得越来越小,基于过渡无线帧方案和基于时序调整方案所带来的增益也变得越来越小,最后,4 种情况下的系统平均吞吐量趋于一致。基于过渡无线帧方案除了在仿真结果上相比基于时序调整方案和基于进程缩减

方案具有明显优势外,现实中的实现也更为简单,所带来的信令开销也更小。

参考文献:

- [1] DING M, LÓPEZ-PÉREZ D, XUE R, et al. Small cell dynamic TDD transmissions in heterogeneous networks[C]//IEEE International Conference on Communications(ICC), June 10-14, Sydney, Australia. New Jersey: IEEE Press, 2014: 4881-4887.
- [2] 赵思聪, 黄磊, 申滨, 等. LTE-U: 未来移动通信系统发展的助推剂[J]. 电信科学, 2016, 32(4): 114-125.
ZHAO S C, HUANG L, SHEN B, et al. LTE-U: the propellant for development of future mobile communication system[J]. Telecommunications Science, 2016, 32(4): 114-125.
- [3] 3GPP. Further enhancements to LTE TDD for DL-UL interference management and traffic adaption: TR36.828, v11.0.0[S]. 2012.
- [4] 陈晓贝, 魏克军. 全球 5G 研究动态和标准进展[J]. 电信科学, 2015, 31(5): 16-19.
CHEN X B, WEI K J. Global research and standardization progress of 5G[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(5): 16-19.
- [5] SUN F, ZHAO Y, SUN H. Centralized cell cluster interference mitigation for dynamic TDD DL/UL configuration with traffic adaptation for htn networks[C]//IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall), September 6-9, Boston, USA. New Jersey: IEEE Press, 2015: 1-5.
- [6] 付婷. TDD-LTE/LTE-A 系统上下行干扰管理和业务自适应增强研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2013.
FU T. Research of UL-DL interference management and business enhance adaptively in TDD-LTE/LTE-A system[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2013.
- [7] 3GPP. Discussion on timing issues with dynamic TDD UL-DL configuration: R1-122510, TSG RAN1#69 [S]. 2012.
- [8] 肖东, 莫福源, 陈庚, 等. 低码率语音编码中过渡无线帧对合成语音的影响[J]. 应用声学, 2016, 35(1): 77-83.
XIAO D, MO F Y, CHEN G, et al. Effects of transition frame on synthesized speech in low bit rate speech coding[J]. Applied Acoustics, 2016, 35(1): 77-83.
- [9] MOHANTA P P, SAHA S K, CHANDA B. A model-based shot boundary detection technique using frame transition parameters[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2012, 14(1): 223-233.
- [10] 3GPP. Physical channels and modulation(release 13): TS36.211, v13.1.0[S]. 2015.
- [11] 3GPP. Physical layer procedures(release 13): TS36.213,



v13.1.1[S]. 2015.

[12] 3GPP. Study on licensed-assisted access to unlicensed spectrum(release 13): TS36.889, v13.0.0 [S]. 2015.

[13] 3GPP. Further advancements for E-UTRA physical layer aspects(release 9): TS36.814, v9.0.0 [S]. 2010.

[14] 3GPP. Medium access control(MAC)protocol specification(release 13): TS36.321, v13.1.0[S]. 2015.

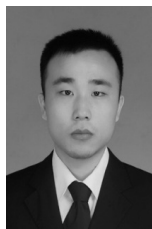
[15] 李原草, 高月红, 张欣. 动态 TDD 在 LTE 异构网络下的性能分析[J]. 移动通信, 2013(8): 175-178.

LI Y C, GAO Y H, ZHANG X. Performance analysis of dynamic TDD under LTE heterogeneous network[J]. Journal of Mobile Communications, 2013(8): 175-178.

[作者简介]



张刚 (1976-), 男, 重庆邮电大学通信与信息工程学院副教授、硕士生导师, 主要研究方向为混沌保密通信和微弱信号检测。



刘是宗 (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/5G LAA 技术、HARQ 技术。



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/5G LAA 技术、干扰协调技术。



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 中的 V2X 技术以及 D2D 技术。