

LTE 系统下行链路 FDRX 节能机制研究

蔡卫红, 欧红玉

(湖南邮电职业技术学院, 湖南长沙 410015)

【摘要】文章提出了 LTE 系统下行链路 FDRX 节能机制,以动态调整单一终端 DRX 机制为基础,在满足时间延迟前提下取得较好电量消耗。该机制分为两个阶段,其中第一阶段为流量预估和数据信息收集,第二阶段为模糊逻辑控制,以得到最佳 DRX cycle 参数值,并将此参数值传给 UE,让 UE 使用在下一时间段的 DRX 模式中。通过仿真发现:对于非即时服务业务,在满足较低延迟时间的 QoS 需求下,FDRX 机制具有最低电量消耗;而对于即时服务业务,FDRX 机制效能最为优异。

【关键词】LTE;下行链路;FDRX;节能

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2020.03.002】

【中图分类号】TN929.5

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2020)03-0005-04

Research on Energy Saving Mechanism of Downlink FDRX in LTE System

CAI Wei-hong, OU Hong-yu

(Hunan Post and Telecommunication College, Changsha, Hunan, China 410015)

Abstract:This paper proposes the downlink FDRX energy saving mechanism of LTE system. Based on the dynamic adjustment of single terminal DRX mechanism, good power consumption is achieved under the premise of meeting the time delay. The mechanism is divided into two stages, the first stage of which is traffic estimation and data information collection. The second stage is fuzzy logic control to get the best DRX cycle parameter value and pass this parameter value to UE to make UE use the DRX mode in the next period. The simulation results show that FDRX mechanism has the lowest power consumption for non-instant service businesses under QoS requirements such as low delay time. For instant services, the FDRX mechanism is the most effective one.

Keywords:LTE; downlink; FDRX; energy saving

本文 FDRX 节能策略以下行链路分组包数据传输时单一 UE 功率节省为目的,以便降低电量消耗及延迟时间来满足 QoS 需求^[1-2]。其策略分为两个阶段:第一阶段为流量预估和数据信息收集。其中流量预估是根据分组包到达时间间隔与延迟时间来进行^[3]。而数据信息收集,若为 VoIP 流量类型,则会利用分组包到达时间间隔数据信息;若是非 VoIP 流量类型,则会利用 UE 目前所使用 DRX cycle 数值,再将此数值作为第二阶段模糊逻辑控制器所需 Input 值,即采用模糊逻辑理论,借由第一阶段数值作为 Input 值,再结合模糊逻辑控制器以得到最佳 DRX cycle 参数值,并将此参数值传给 UE,让 UE 使用在下一时间段的 DRX 模式中。

1 流量预估

延迟时间属于 QoS 参数之一,不同服务类型有不同 QoS 需求。延迟时间通常包括:处理延迟时间、排队延迟时间、传输延迟时间、广播延迟时间等多种情况。延迟时间太长可能导致分组包在 eNB buffer 中丢失,导致分组包遗失率增加,进而造成用户满意度降低。eNB 收集每个分组包所产生延迟时间作为延迟时间数据信息。因 eNB 已知 UE 的 DRX mode,故可推测出分组包延迟时间,其延迟时间的计算是从某分组包到达 eNB 那一刻开始算起,直到此分组包传给 UE 并接收完为止,如图 1 所示。eNB 通过这些延迟时间数据信息与历史延迟时间进行流量预估来计算出平均延迟时间数据,而此数据会用来推估下一段时间

【收稿日期】2020-06-28

【作者简介】蔡卫红(1971-),男,湖南益阳人,湖南邮电职业技术学院教授,硕士,研究方向:移动终端、移动通信系统。

DRX cycle 参数。

为推估出 DRX cycle 参数需将延迟时间数值用于第二阶段 Input 值,进而应对下一阶段的流量传输,如图 2 所示。图中的历史延迟时间表示之前已收集的平均延迟时间。此部分计算延迟时间数值会大大影响第二阶段结果。

分组包到达时间间隔也是由 eNB 收集,eNB 再通过这些分组包到达时间间隔与历史分组包到达时间间隔值来进行流量预估并计算出平均分组包到达率,并将此数值用于第二阶段的 Input 值,进而应对下一段时间的流量传输,如图 1 与图 2 所示。图中的历史分组包到达时间间隔值表示之前已收集且平均的分组包到达率。

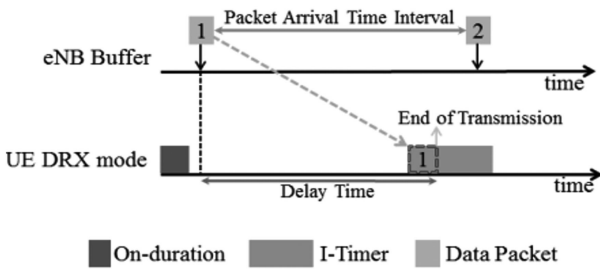


图 1 延迟时间于分组包到达时间间隔说明图

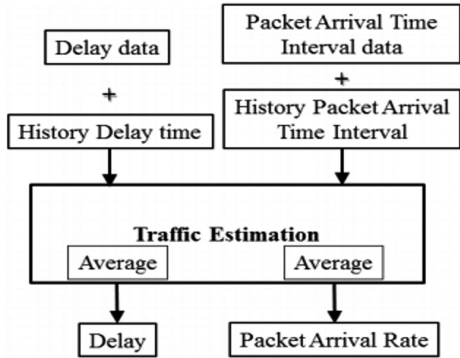


图 2 流量预估流程图

2 模糊逻辑控制器

当 UE 分组包延迟时间过长导致不满足 QoS 需求,此时需通过缩短 DRX cycle 长度来减少延迟时间。而 DRX cycle 设定多长才算短,则通过模糊逻辑控制理论加经验的判断进行,即通过不断实验的结果来调整模糊逻辑控制器内参数值,使模糊逻辑控制器输出最佳 DRX cycle 参数值^[4-5]。从最初步骤的模糊化到最后步骤的去模糊化过程中,利用相关推理引擎结合模糊逻辑规则来模拟人类决策,并通过近似准确的数据来找到解决方案。模糊逻辑控制器流程如下:

第一步:将延迟时间数值及分组包到达率或当前 DRX cycle 数值一起输入到模糊逻辑控制器进行模拟化^[6]。分组包到达率适用于流量类型为即时服务 VoIP 业务,若流量类型为非即时服务业务,则会使用该 UE 当前 DRX cycle 数值。流量类型在进入模糊逻辑控制

器之前进行判断^[7]。模糊化方法通过隶属函数,其参数值都是通过 QoS 信息及不断实验调整所得到的结果,如图 3 及图 4 所示。

图 3 水平轴为延迟时间 Input Variable,其模糊值定义为 Extremely Short、Short、Middle、Long、Extremely Long 五种长度,分别设定为:50 ms 内、25 ms 至 100 ms、75 ms 至 150 ms、12 ms 至 300 ms、250 ms 以上。

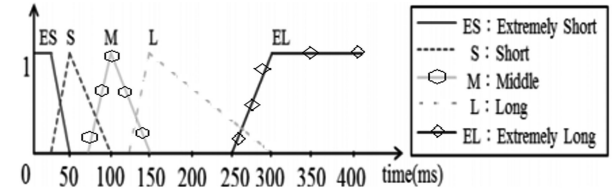


图 3 Input Variable 延迟时间

图 4 水平轴为分组包到达率当前 DRX cycle 的 Input Variable,其模糊值定义为 Extremely Short、Short、Middle、Long、Very Long 与 Extremely Long 六种长度,分别设定为:40 ms 内、20 ms 至 80 ms、40 ms 至 160 ms、80 ms 至 320 ms、256 ms 至 640 ms、512 ms 至 2560 ms。当 Input 值转变为模糊值后进入第二步。

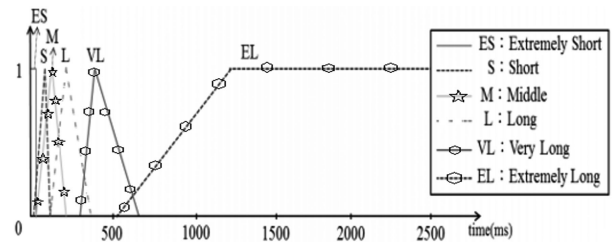


图 4 Input Variable 分组包到达率当前 DRX cycle

第二步:将第一步模拟化输出值在推理引擎中结合模糊逻辑规则进行推理与对应。推理引擎,即将第一步所得模糊值与模糊逻辑规则进行对应,并通过不断实验、经验及 QoS 需求中的最大可延迟时间来制定出 10 条模糊逻辑规则,如表 1 所示。首先表 1 中有两种流量类型,第一种为非即时服务,如网页浏览、文件传输等,其最大延迟时间为 300 ms。另一种为即时性服务,主要以 VoIP 为主,其最大可延迟时间为 100 ms。eNB 在接收到该 UE 的数据流量时,就已知其流量类型,在模糊逻辑规则中加入流量类型是为了使模糊逻辑控制器能方便地去处理。在延迟时间部分则与第一步骤延迟时间的 Input Variable 相同,有 Extremely Short、Short、Middle、Long、Extremely Long 共 5 种长度。在 DRX Cycle 部分,“+1”“0”“-1”“-2”分别指的是当前 DRX cycle 长度拉长一个状态、DRX cycle 长度不改变、DRX cycle 长度缩短一个状态、DRX cycle 长度缩短两个状态。DRX cycle 的长度状态分别为 Extremely Short、Short、Middle、Long、Very Long 及 Extremely Long 共六种状态。

举例如下:假设流量类型为非即时服务和延迟时

间为 Short,且假设通过第一步取得 DRX cycle 的长度为 Short, 则推理引擎对应模糊逻辑规则会产生出“+1”的值,DRX cycle 长度会从 Short 拉长一个状态变为 Middle,此 Middle 即输出 DRX cycle 的模糊值。

表 1 模糊逻辑的规则表

Number	Data Type	Delay	DRX Cycle
1	Non real time	Extremely Short	+2
2	Non real time	Short	+1
3	Non real time	Middle	+1
4	Non real time	Long	0
5	Non real time	Extremely Long	-1
6	Real time (VoIP)	Extremely Short	+1
7	Real time (VoIP)	Short	0
8	Real time (VoIP)	Middle	-1
9	Real time (VoIP)	Long	-2
10	Real time (VoIP)	Extremely Long	-3

第三步:将推理引擎所得输出值再进行去模糊化步骤获得最佳 DRX cycle 参数值。第三步是将上一步所输出的 DRX cycle 模糊值进行去模糊化动作,而去模糊化方法就是将 DRX cycle 模糊值去对应 DRX cycle 的 Output Variable, 而此 DRX cycle 的 Output Variable 定义与设定都与图 4 完全相同。当 DRX cycle 模糊值转变为 DRX cycle 参数值后就进行输出,并将此参数值传给 UE, 让 UE 当作下一段时间的 DRX mode。

模糊逻辑控制器的目的是选择最佳 DRX cycle 参数值,并将此参数值提供给 UE 作为下一段时间的 DRX mode,让 DRX 机制能达到最低限度省电及减少延迟时间来满足 QoS 需求。

3 模拟仿真

Case1 实验参数设定如表 2 所示。其模拟仿真以非即时服务为主,随机乱数方式产生分组包大小与分组包到达时间。UE 的 DRX 机制以 3000 ms 为单位共执行 200 次,共执行 10 分钟,随机乱数产生 1 至 10 个数据分组包 / 次, 比较使用固定 DRX cycle 长度分别为 40 ms、80 ms、160 ms 及本文所提出的 FDRX 方法共 4 个对象。On-duration 参数值固定为 5 ms,以及 I-Timer 参数值固定为 10 ms。

表 2 FDRX Case1 参数设定

Parameters	Assumption
Simulation Case1	Random data packet size and packet arrival time
Execution time	10 minutes
The number of data packets	Random 1~10 data packets/frequency
Scheme	FDRX、Fix DRX cycle=40、80、160 ms
On-duration	5 ms
I-Timer	10 ms

模拟结果分别如图 5 及图 6 所示。图 5 为电量消耗仿真比较,数值越小越好,图 6 为平均延迟时间仿真比较,也是数值越小越好,更能满足 QoS 需求。从图 5 及图 6 可看出,FDRX 方法与其它比较对象相比,电量消耗最低,所以最优。虽然其余比较对象的分组包传输延迟时间比 FDRX 方法要低,但是它们的电量消耗大幅增加,由于仿真实验以浏览网页或文件传输的 QoS 需求最大延迟时间为 300 ms, 在满足较低延迟时间等 QoS 需求下, 为达到最低电量消耗, FDRX 方法最优。

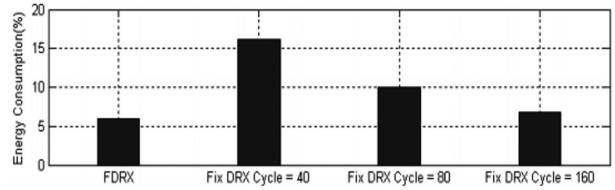


图 5 FDRX Case1 的 Energy Consumption 比较图

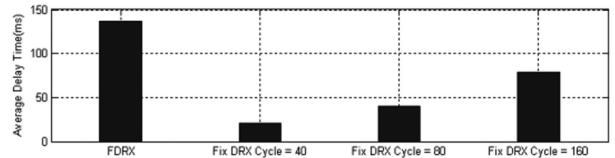


图 6 FDRX Case1 的 Average Delay Time 比较图

Case 2 仿真参数设定如表 3 所示。其模拟仿真以即时服务 VoIP 为主,并固定分组包大小和规律性时间到达,分组包到达时间为 150 s 以内的分组包大小固定为 200 bits,50 ms 传输一次; 分组包到达时间为 150 s 到 300 s 间的分组包大小固定为 800 bits,90 ms 传输一次; 分组包到达时间为 300 s 到 450 s 间无分组包传输; 分组包到达时间为 450 s 到 600 s 间的分组包大小固定为 500 bits,120 ms 传输一次。UE 的 DRX 机制是以 3000 ms 为单位共执行 200 次,共执行 10 分钟,分组包数量 10 个 / 次,比较对象为使用固定 DRX cycle 长度分别为 40 ms、80 ms、160 ms、320 ms 及本文所提出的 FDRX 方法共 5 个对象。On-duration 参数值固定为 5 ms,以及 I-Timer 参数值固定为 10 ms。

表 3 FDRX Case2 实验参数表

Parameters	Assumption
Simulation Case1	Fixed data packet size and regular packet arrival (150 s less, fixed data packet size is 200 bits, the arrival time is 50ms/frequency; 150~300 s, fixed data packet size is 800 bits, the arrival time is 90 ms/frequency; 300~450 s no data packet; 450~600 s, fixed data packet size is 500 bits, the arrival time is 120 ms/ frequency)
Execution time	10 minutes
The number of data packets	10 data packets/frequency
Scheme	FDRX、Fix DRX 1cycle=40、80、160、320 ms
On-duration	5 ms
I-Timer	10 ms

模拟仿真结果如图 7 至图 9 所示。图 7 为电量消耗仿真比较,其数值越小越好。图 8 为平均延迟时间仿真比较,也是数值越小越好,越能满足 QoS 需求。图 9 为 FDRX 方法与比较对象的效能比较图,其数值越高表示效能越好。本文提出的 FDRX 方法以减少电量消耗为主,延迟时间仅需满足 QoS 需求。在图 7 至图 9 中,FDRX 方法的电量消耗与平均延迟时间都不是最好,因需满足 QoS 需求,如以电量消耗为最好,容易导致延迟时间增长,进而不满足 QoS 需求。如 Fix DRX cycle 为 320 ms 时其电量消耗虽然最低,但其延迟时间最高,且大于 VoIP 在 QoS 需求中的最大可延迟时间。反之若要延迟时间最低,则容易导致电量消耗最高,如 Fix DRX cycle 为 40 ms 时。所以本文提出的 FDRX 方法有较低的电量消耗及延迟时间满足 QoS 需求,从图 9 效能比较图可看出比其他策略更为优异。

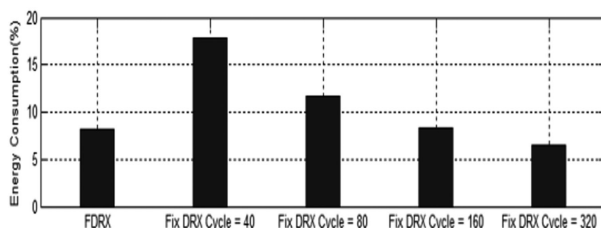


图 7 FDRX Case2 的 Energy Consumption 比较图

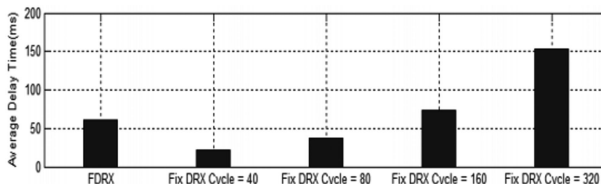


图 8 FDRX Case2 的 Average Delay Time 比较图

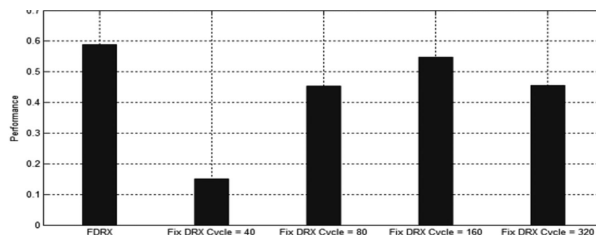


图 9 FDRX Case2 效能比较图

4 总结

从 Case 1 和 Case 2 的模拟仿真针对不同的业务服务类型进行测试,其结果发现使用 FDRX 方法其效能比其他比较对象的效能还要好,但是若在模糊逻辑控制器的参数方面进行调整,以及增加多种不同的 Input 值,就可使此方法适用在更多不同的应用上,再加上此方法可动态去调整 DRX cycle,优势明显。

【参考文献】

- [1]李玉杰.基于 LTE-V 协作的低功耗 NB-IoT 接入技术研究[D].北京:北京交通大学,2018.
- [2]李琦,张琨,田艳中.大功率微站覆盖效果的研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2018(4):15-17.
- [3]胡燕儒.基于时延需求及可靠性的 D2D 资源配置方案研究[D].成都:西南交通大学,2018.
- [4]王振.LTE 系统下基于 MBMS 无线资源调度方案设计与研究[D].南京:南京邮电大学,2014.
- [5]吴朝安.LTE 系统多播广播单频网终端节能资源调度算法研究[D].北京:北京邮电大学,2012.
- [6]Zhong C, Yang T, Zhang L, et al. A New Discontinuous Reception(DRX) Scheme for LTE-Advanced Carrier Aggregation Systems with Multiple Services [C]// IEEE Vehicular Technology Conference(VTC Fall). IEEE,2011:1-5.
- [7]Polignano M, Vinella D, Laselva D, et al. Power Savings and QoS Impact for VoIP Application with DRX/DTX Feature in LTE[C]// IEEE 73rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring). IEEE, 2011.