



TD-LTE 系统下的 DRX 过程的改进与实现 *

朱 芹, 李小文

(重庆邮电大学移动通信技术重点实验室 重庆 400065)

摘 要:随着移动终端业务的丰富以及智能手机的普及,移动终端电池的续航能力在成为业界关注热点的同时也遇到了严峻的挑战。在 LTE 系统无线高层协议中,为进一步支持多种业务和大量数据的传输,DRX(非连续接收)机制作为降低终端功耗的重要方法被引入。本文不仅详细描述了 DRX 在空闲状态和连接状态下的不同原理和机制,而且给出了相应的实现流程与算法,并在此基础上优化了连接态下的 DRX 算法,从而避免了因无效配置造成的信令开销增大等问题。最后根据不同业务的特性,给出了 DRX 机制在不同移动业务中的实现,从而更好地改善了终端能耗和信令开销等性能。

关键词:非连续接收;功耗;实现;空闲状态;连接状态

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2013.06.018

Improvement and Implementation of DRX in TD-LTE System

Zhu Qin, Li Xiaowen

(Key Laboratory of Mobile Communication Technology, Chongqing University of

Posts and Telecommunication, Chongqing 400065, China)

Abstract: With the enriching of mobile terminal business as well as the popularization of intelligent terminal, battery capacity of mobile terminal not only attracts so much attention in the field, but also encounters severe challenges. In the protocol of LTE system, in order to get the further more variety of business support and large amounts of data transmission, the DRX mechanism was taken as an important method to be introduced. Not only the different principles and mechanisms of DRX in different states including idle state and connection state were described in detail, but also the implementation process and the corresponding algorithm were proposed. Based on these, the algorithm of DRX in the connection state was optimized, which avoided invalid configuration resulting in the problem of increased signaling cost. Finally, complete implementation of the mechanism of DRX in different mobile business was given according to the different business characteristic, so that it improves the terminal consumption and signaling cost performance.

Key words: DRX, power, implementation, idle state, connection state

1 引言

移动终端的待机时间一直是业界关注的热点之一,加之这两年移动互联网的迅猛发展以及智能手机的普及,催

生了多媒体、社交、即时通信等业务的丰富应用,随着业务的不断丰富,也使智能终端的电池续航能力面临着更艰巨的挑战。相对于 2G 和 3G 来说,TD-LTE 系统在提供更高的频谱利用率、更快的数据速率、更丰富的多媒体业务的同

* 国家科技重大专项基金资助项目(No.2011ZX03001, No. 2012ZX03001024)

时,复杂的基带数据处理、功放线性引入的低电源效率、多媒体以及终端应用软件的应用使得4G网络下的终端功耗问题更为棘手。

DRX(非连续接收)作为无线通信系统链路层优化能量效率的一项重要方法,被大多数无线通信系统所采纳。其基本思想是在终端没有数据传输时,进入睡眠状态,关闭收发单元以降低终端功耗^[1,2]。

2 DRX 机制

LTE系统中,DRX机制有两种:空闲状态(idle DRX),即UE处于RRC-idle下的DRX机制;连接状态(connected DRX),即UE处于RRC-connected下的DRX机制。在不同状态下,UE接收数据的要求不一样,因此两种DRX机制也完全不一样。

2.1 空闲状态 DRX

当UE处于空闲状态下的非连续性接收时,未建立RRC,没有用户的专有资源,因此主要监听呼叫信道与广播信道,也就是说只要定义好固定的周期,就可以达到非连续接收的目的。此过程完全由NAS控制,控制UE监听P-RNTI加扰的PDCCH,采用固定周期,通过寻呼子帧(PF)中寻呼时刻(PO)的到来对PDCCH进行监视,从而降低终端功耗。一个寻呼子帧包含了一个或者多个寻呼时刻,然而在空闲状态下配置了DRX后,UE只需要每个DRX周期监听一个PO即可。

2.2 连接状态 DRX

在DRX模式下,所有定时器和参数的设置都是通过RRC层完成的,由MAC层配置信息中携带相关DRX信息,其中包括持续工作定时器(on duration timer)、DRX非激活定时器(DRX-inactive timer)、短周期DRX定时器(DRX short cycle timer)、HARQ RTT定时器和DRX重传定

时器(DRX-retransmission timer)等种类的定时器,只有清楚地理解这几种定时器的使用,才能弄清楚连接下的DRX机制^[3]。参考文献[3]中也给出了定时器的相关介绍,但涉及DRX过程实现所需要的参数并未全部进行描述,下文将对实现所需的定时器以及重要的参数进行详细的描述,其定义详见参考文献[4],其参数取值范围详见参考文献[5]。

- 持续工作定时器:指定在一个DRX周期开始时连续PDCCH的子帧个数。
- DRX非激活定时器:指成功解码一个指示初始UL/DL用户数据传输的PDCCH后连续PDCCH的子帧个数。
- DRX重传定时器:HARQ RTT超时后所开启的定时器,指UE预期接收DL重传时间最大的PDCCH的子帧个数。
- 长DRX周期:RRC所配置的长DRX周期的子帧个数。
- 短DRX周期:RRC所配置的短DRX周期的子帧个数。
- 短周期DRX定时器:指定短DRX周期的个数。
- HARQ RTT定时器:在DL HARQ重传之前最少的子帧个数,也就是UE预期DL重传到达的最少间隔时间。

结合图1理解DRX过程中所涉及的相应定时器。

如图1所示,通常情况下,UE在连接状态下需要时时监听PDCCH,以便接受来自网络端的下行任务、下行数据传输或者上行授权等。在DRX配置后且未到启动时刻前,UE均处于激活时期,需要时刻对PDCCH进行监听,如果在激活期内时刻1处接收到来自PDCCH的上行数据,则开启DRX非激活定时器;在DRX非激活定时器超时后,则进入DRX配置模式下的功率节省时期,如图1中时刻2,如果此时配置了短DRX周期,则使用短DRX周期,否则直接进入长周期;而短DRX周期使用次数由DRX短周

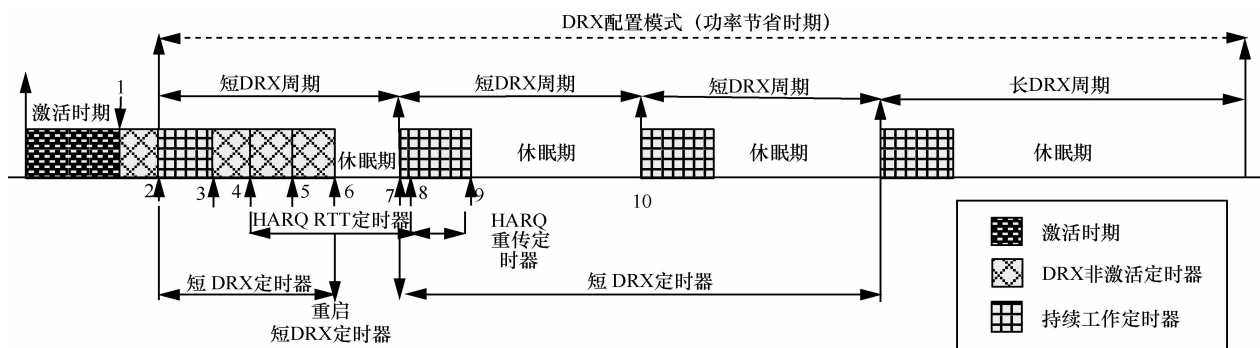


图1 连接态 DRX 机制操作示例



期定时器所决定,该定时器超时后,则进入长 DRX 周期,如图 1 中时刻 10。进入 DRX 配置模式下的短 DRX 周期后,立即启动持续工作定时器,该定时器内,终端一直监听是否有数据传输。如果在该定时器未超时前的时刻 3,UE 监听到 PDCCH 上有上行数据授权的传输,则此时将开启非激活定时器;在时刻 4 又监听到了一个下行数据的传输,此时又将开启 DRX 非激活定时器,同时还需开启 HARQ RTT 定时器;在时刻 5 接收到上行数据,又将开启 DRX 非激活定时器,需要注意的是,无论 UE 接收到 PDCCH 的数据是上行还是下行,均会开启 DRX 非激活定时器,而只有在当 PDCCH 指示下行数据传输以及配置了下行任务的时候才开启 HARQ RTT 定时器;在时刻 6,DRX 非激活定时器超时 PDCCH 并未接收到相应数据,则重启短 DRX 定时器并进入另一个短 DRX 周期,在进入下一个短 DRX 周期之前则进入休眠期;在时刻 7,UE 进入下一个 DRX 周期;在时刻 8,HARQ RTT 定时器超时,则开启 DRX 重传定时器;在时刻 9,持续工作定时器超时,则进入休眠期,到下一个时刻再进入下一个短 DRX 周期,直至短 DRX 定时器超时进入长 DRX 周期。

3 DRX 过程的实现

在参考文献[6~8]中均提到了空闲状态 DRX 以及连接状态 DRX 的机制与相关原理,但并未有文献详细描述其计算方式以及实现方法,下文将分别描述空闲状态和连接状态下 DRX 机制的实现。

3.1 空闲状态 DRX 的实现

由空闲状态 DRX 机制和原理可知,UE 在空闲状态下通过寻呼子帧中寻呼时刻(PO)的到来对 PDCCH 进行监视,从而达到降低功率的目的,而 PF 和 PO 均由系统消息中的相关参数进行计算,式(1)为 PF 的计算方式,式(2)为 PO 的计算方式:

$$SFN \bmod T = (T \div N) \times (UE_ID \bmod N) \quad (1)$$

$$i_s = \text{floor}(UE_ID/N) \bmod N_s \quad (2)$$

其中,floor 代表向下取整。 T 为 DRX 周期,由于 UE 可能配置不同的长 DRX 周期以及短 DRX 周期,因此 T 代表 UE 所指定的最短的 DRX 周期。 T 在系统消息中会配置一个缺省值,如果 UE 还未配置 DRX 周期时,则使用配置的缺省值,在 MAC 主配置中配置。 $N_s: \min(T, nB); N_s: \max(1, nB/T)$ 。其中, nB 的值由无线资源配置中的 PCCH 进行配置,包括 $4T/2T/T/T/2/T/4/T/8/T/16/T/32$ 。 UE_ID :IMSI

mod 1 024。IMSI(全球移动标识码)有 6~21 位数字,每位数字为 0~9 的整数。

算出 i_s 后,对应表 1 算出一个无线帧中对应的寻呼时刻。同时可以通过式(1)算出 PF 的系统帧号,即得出了寻呼子帧。

表 1 TDD 模式下上下行链路 PO 计算

N_s	PO when $i_s=0$	PO when $i_s=1$	PO when $i_s=2$	PO when $i_s=3$
1	0	N/A	N/A	N/A
2	0	5	N/A	N/A
4	0	1	5	6

3.2 连接状态 DRX 的实现

由连接状态 DRX 机制可知,在终端主要分为激活期和 DRX 配置模式,在激活期 UE 时刻监听 PDCCH,检测相应的下行数据。而在 DRX 配置模式下,长的 DRX 周期对延长 UE 的电池续航时间有益,短的 DRX 周期对数据传输时的快速反应更加有利^[9]。为了保证各种不同业务的 QoS 要求,同时达到降低功率的目的,需同时将短周期和长周期共同使用。DRX 模式下的所有定时器以及参数均来自网络端的 RRC,终端检查当前子帧是否满足式(3)和式(4),从而判断短 DRX 周期以及长 DRX 周期的使用时间。

如果使用短 DRX 周期,则判断满足式(3)的子帧和无线帧:

$$[(SFN \times 10) + SN] \bmod (T_{sc}) = (O_s) \bmod (T_{sc}) \quad (3)$$

如果使用长 DRX 周期,则通过式(4),判断出相应的子帧和无线帧:

$$(SFN \times 10) + SN \bmod (T_{lc}) = O_s \quad (4)$$

其中, SN 表示子帧数, T_{sc} 表示短 DRX 周期使用时间, T_{lc} 表示长 DRX 周期使用时间, O_s 表示 DRX 起始偏移值。

如果使用短周期配置,在进入 DRX 模式后,首先进行短周期的监听,直到短周期定时器超时为止,再进入长周期定时器。而如果 DRX 配置后,无论进入短周期还是长周期,只要 DRX 非激活定时器超时,则进入新的 DRX 周期。如果在长周期下,UE 接收到 DRX 操作的 MAC 控制元素,则同样需要进入新的 DRX 周期。其实现具体流程如图 2 所示。

4 连接状态 DRX 算法的改进

在连接状态 DRX 模式下,根据以上机制和流程进行实现后,发现按照相应操作随机配置参数进行实现时,将

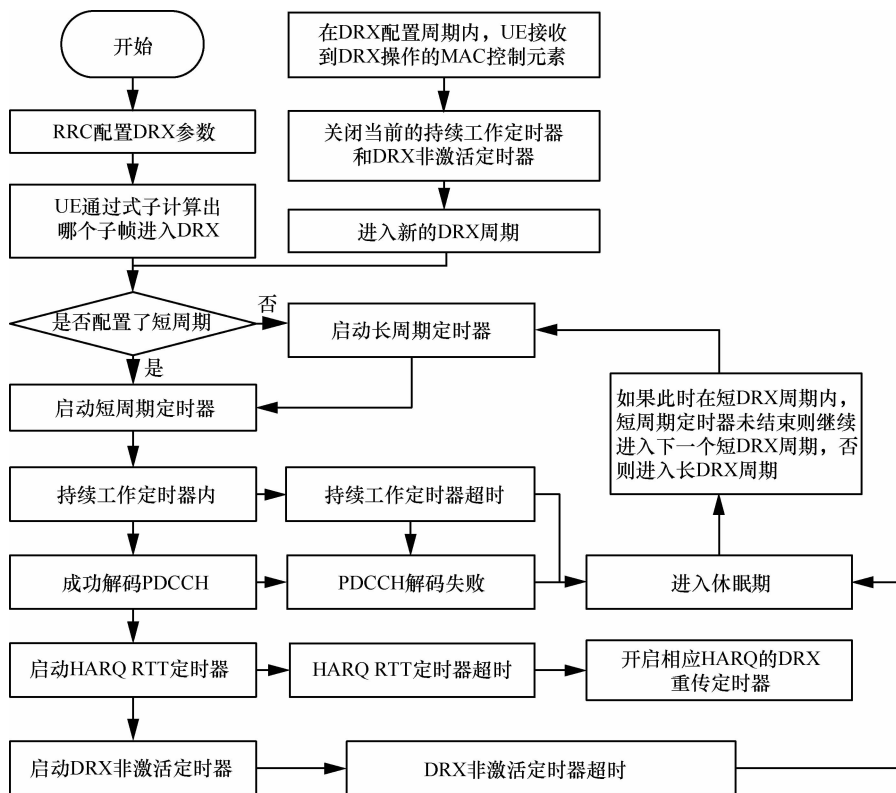


图2 连接态 DRX 的实现流程

出现配置无效从而导致信令资源浪费的情形,因此本文将根据所出现的问题进行改进,提出了相应的解决方案。

现假设 LTE 系统配置,下行配置 0;持续工作定时器配置为 $psf1$,即一个 PDCCH 子帧;DRX 非激活定时器同样配置为 $psf1$,代表一个 PDCCH 子帧;长 DRX 周期为 $sf10$ (10 个子帧);DRX 周期偏移值为 $sf1$ (1 个子帧);长 DRX 周期为 $sf2$ (2 个子帧);短周期 DRX 定时器为 8。配置为 0 的一个无线帧中的 10 个子帧分别为 D、S、U、U、U、D、S、U、U、U。其中,D 代表下行子帧,S 代表特殊子帧,U 代表上行子帧。根据以上配置,再根据上文中所提到的长 DRX 周期/短 DRX 周期计算式,计算出短 DRX 周期/长 DRX 周期相应开启位置,得出如图 3 所示的子帧配置。由于持续工作

定时器和 DRX 非激活定时器均为下行子帧,此时就出现了两个问题,一是在图 3 中第 2 个、第 4 个和第 6 个短周期均没有下行子帧,因为此配置无效,无形中自动延长了短 DRX 周期长度,达不到最初的配置目的;二是当第 1 个短 DRX 周期的持续工作定时器内监听到了 PDCCH 上有下行数据,此时开启 DRX 非激活定时器,但此时下一个子帧为上行帧,无法监听,同时,在第 3 个的一个子帧又开始进入下一个短 DRX 周期内,此时就产生了定时器冲突的情况。

在不同上、下行配置下,由于上、下行子帧不同,因此参数取值也不同,在网络端配置时,不仅需要规定的参数内取值,同时相关参数还需要满足以下关系才会避免所提到的上述问题。

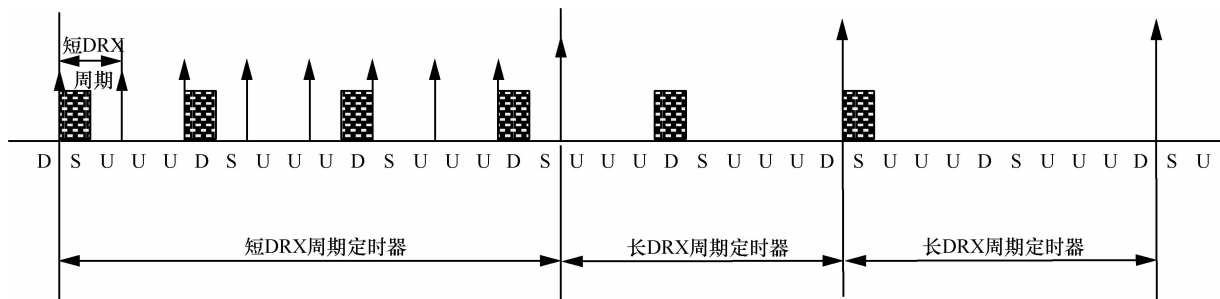


图3 DRX 子帧配置示例



如果 DRX 配置了短 DRX 周期,则应该满足:

$$\text{floor}(10/N) \times N_{\text{DT}} \leq N_{\text{SC}} \quad (5)$$

如果未配置,则满足式(6):

$$\text{floor}(10/N) \times N_{\text{DT}} \leq N_{\text{LC}} \quad (6)$$

其中, N 代表不同配置下行子帧的个数; N_{DT} 代表不同配置下持续工作的子帧个数; N_{SC} 代表 RRC 所配置的短 DRX 周期的子帧个数; N_{LC} 代表 RRC 所配置的长 DRX 周期的子帧个数。

当配置参数满足了以上条件后,将避免因无效配置而浪费资源的情况。

5 DRX 机制在不同业务下的实现

对不同的业务,DRX 机制的参数配置需要进行优化,才能达到更好的系统性能。终端在激活 DRX 机制下,当没有数据收发时,可关闭收发机以节省能耗,虽然达到了节省功率的目的,却加大了数据分组的时延,因此在能耗和时延之间要存在性能折中^[1]。对于时延敏感的业务,如在线游戏类、即时通信等,应配置较长的短周期定时器、较长的持续工作定时器和去激活定时器,保证即时监听到数据进行处理,以确保数据的实时性。而对于通常使用 E-mail 和网页浏览的用户,实时性要求略低,可以考虑以节省功率为主,因此可考虑配置较短短周期定时器、持续工作定时器和去激活定时器,同时配置较长的周期等参数使其能尽快地进入长周期的休眠状态,从而降低终端功耗。以下分别根据不同业务的特性,优化 DRX 的配置,从而更好地改善终端能耗和信令开销等性能。

5.1 在线游戏类业务

在线游戏业务是对时延敏感的业务,对实时性要求较高,由参考文献[12]可知,典型的在线游戏的数据分组间隔模型服从极值分布,其分布函数为 $f(x) = \frac{1}{b} e^{-\frac{x-a}{b}} e^{-e^{-\frac{x-a}{b}}}$, 其中 $a=50$ ms, $b=4.5$ ms。对时延极为敏感,因此主要配置为短 DRX 周期,并且短 DRX 周期时间应较长,短 DRX 周期定时器应配置为 15~16 个子帧,以保证数据的实时性,而其长周期应配置较短,可与短周期接近,并加大其去激活定时器以及持续工作定时器时间,根据式(5)的条件,可将持续工作定时器配置为 1~3 个子帧;DRX 非激活定时器配置为 1~3 个子帧;DRX 短 DRX 周期定时器配置为 10 个子帧;而长 DRX 周期定时器同样配置为 10 个子帧,这样长 DRX 周期和短 DRX 周期的长度一样,实际是延长短

DRX 周期定时器的长度,从而保证了数据的实时性。

5.2 即时通信类业务

即时通信类业务的特点是信息交换频繁且实时性要求较高,在参加文献[13,14]中介绍的 IM 应用的数据分组间隔模型服从标准韦伯尔分布(Weibull distribution),其分布函数为 $f(x) = rx^{r-1}e^{-x^r}$, 其中 $r=0.455$ 3。其均值函数为 27.3 ms。因此对即时通信类业务而言,可将去激活定时器设置在 30 ms 左右,即可设置为 4~8 个下行子帧,而短 DRX 周期定时器设为 12~16 个子帧,以兼顾节能、时延和信令开销等方面的性能。

5.3 网页浏览业务

对于网页浏览业务来说,其典型业务数据分组间隔模型服从均值函数为 30 s 的指数分布。其分布函数为: $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$, 其中 $x \geq 0, \lambda = 0.033$ 。由于其均值为 30 s,数据分组间隔较大造成终端进入 RRC 空闲状态的可能性较大,同时对于网页浏览业务而言,时延敏感性不高,因此主要考虑节省功率,短周期的设置对其意义不大,则可直接考虑设置长周期,因此在配置时需要满足上文中的式(6),由于其均值为 30 s,因此可将长周期设置为 1 024 子帧或 2 048 子帧即可。

6 结束语

本文将 DRX 机制应用到 LTE 系统中,在参考文献[3]中的实现流程图加以完善改进,并优化了实现过程中的算法,折中考虑功耗和时延问题,将 DRX 机制应用到现有的不同业务中进行实现,从而更好地改善终端能耗和信令开销等性能。

参考文献

- 1 罗俊,刘琛,邵震.下一代移动网络中非连续接收机制对移动互联网业务性能影响分析.电信科学,2011(7): 29~34
- 2 沈爱国,李方伟,朱江.一种基于 LTE 系统的不连续接收方法.电视技术,2012,36(15):56~58
- 3 李小文,徐志文,张峥.TD-LTE 系统 DRX 机制的分析与设计.电子技术应用,2012,38(3):44~46
- 4 3GPP TS 36.321 V9.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Medium Access Control (MAC) Protocol Specification, 2010
- 5 3GPP TS 36.331 V9.1.0. Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) Radio Resource Control (RRC), 2010
- 6 张春业,宁祥峰,李仁波.一种基于 LTE 系统 DRX 装置及其控制方法.中国,201010178840.9, 2010
- 7 李仁波,张春业,宁祥峰等.基于长期演进系统非连续接收机制的改进算法.计算机应用,2010,30(12): 3187~3190