



5G 终端空闲态节能方案分析

杨拓¹, 胡丽洁¹, 王飞¹, 刘建军¹, 胡南¹, 李男¹, 胡臻平²

(1. 中国移动通信有限公司研究院, 北京 100053; 2. 中国移动通信集团有限公司, 北京 100032)

摘要: 由于大带宽、大规模天线、高速率等新特性的引入, 5G 终端的能耗问题比 4G 终端更加严峻, 成为影响 5G 网络用户体验的重要原因之一。3GPP 标准化组织开展了与 NR 终端节能课题相关的研究, R16 协议版本主要面向连接态下的终端节能优化, R17 协议版本则主要面向空闲态终端节能优化。首先分析了空闲态下的终端节能问题, 同时与 LTE 终端能耗进行对比。针对寻呼检测和时频跟踪过程的能耗问题提出了节能优化解决方案, 进行了节能增益分析, 该方案可以降低 5G 终端的能耗, 为后续 5G 商用终端空闲态的节能技术指明了方向。

关键词: 终端节能; 空闲态; 寻呼; 时频跟踪同步参考信号

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021066

Power saving techniques for 5G RRC_Idle mode UE

YANG Tuo¹, HU Lijie¹, WANG Fei¹, LIU Jianjun¹, HU Nan¹, LI Nan¹, HU Zhenping²

1. China Mobile Research Institute, Beijing 100053, China

2. China Mobile Communications Group Co., Ltd., Beijing 100032, China

Abstract: The power consumption of 5G UE is much serious than 4G UE due to larger bandwidth, massive MIMO, and higher data rate and has been one of the important reason affecting users' experience of 5G network. 3GPP has promoted the study and standardization of NR UE power saving techniques, which the R16 techniques is designed for RRC_connected mode and the started R17 techniques focus on RRC_idle mode. The power consumption of NR UE in RRC_idle was analyzed and compared with LTE UE. The power saving techniques to solve the power consumption in paging and tracking procedure were proposed and the power saving gain were also evaluated. The proposed techniques can reduce 5G UE power consumption and be applicable to future 5G commercial UE.

Key words: UE power saving, RRC_Idle mode, paging, TRS

1 引言

5G NR 网络在为用户带来超高速率、超低时延体验的同时, 也为 5G 终端能耗带来更大的挑战。大带宽传输、更多的收/发天线数目会显著提

升 5G 终端的射频前端和收发链路的能耗, 同时 5G 网络支持 eMBB、uRLLC 和 mMTC 等多种业务, 严格的时延要求和更复杂的数据处理需求也会显著提升基带处理器的计算和处理能耗。在 4G 网络时代, 智能终端普遍只有 1 天的待机时长,



如果 5G 终端不进行节能优化,其待机时长将会进一步下降,严重影响 5G 终端和 5G 网络的用户体验。

3GPP 标准化组织从 R16 版本开始开展了 NR 终端节能技术的相关研究。R16 终端节能技术^[1]主要针对连接态下的终端能耗问题进行优化,提出了 DRX 唤醒信号、动态跨时隙调度、MIMO 层数自适应、Scell dormant BWP、终端辅助信息上报等节能技术,大幅度减少了终端不必要的 PDCCH 检测、PDSCH 缓存的能耗。从 R17 版本开始将主要涉及空闲态下的终端节能技术,进一步扩大节能技术范畴、降低 5G 终端能耗。

2 5G 终端空闲态能耗问题分析

2.1 空闲态终端能耗分析

在 LTE 和 NR 中,空闲态终端采用非连续接收(DRX)的方式检测寻呼,终端在每个 DRX 周期检测一次寻呼机会(PO),如果检测到寻呼 PDCCH 则继续接收调度的寻呼消息。但是由于空闲态下终端休眠时间较长,终端在每次检测 PO 之前需要进行时频域的跟踪同步,在确保同步之后再检测 PO 和接收寻呼消息。在 LTE 中终端利用每个时隙都传输的 CRS 进行寻呼检测前的时频域跟踪同步,而在 NR 中,空闲态终端只能利用周期性发送的 SSB 进行时频域跟踪同步。

为了分析空闲态终端进行时频域跟踪同步和检测寻呼的总能耗,假设终端需要 3 个 CRS 或者 SSB burst 才能完成时频域跟踪同步,一个 PO 的寻呼概率为 10%,其他系统参数假设见表 1。

在本节的空闲态终端能耗分析中,根据 3GPP R16 终端节能技术报告^[1]中提出的终端能耗分析模型,参考文献[1]中仅给出 NR 的物理层过程相对能耗、睡眠转换时间和转换能耗。本文假设 NR 空闲态终端的工作在带宽为 20 MHz 的初始 BWP 上,与 LTE 的系统带宽相同,因此 LTE 的 PDCCH 和 PDSCH

表 1 NR 系统参数假设(空闲态)

参数	取值
子载波间隔	30 kHz
载波数量	1
带宽	20 MHz
DRX 周期	1.28 s
PO 寻呼概率	10%
SSB 配置	每个 SSB burst 包含 8 个波束(2 ms)
SSB 周期	20 ms
PO 检测时间	4 ms(8 时隙)

的单位检测能耗与 NR 相同,同时假设 CSR 处理的相对能耗与 SSB 处理的相对能耗也相同,LTE 系统下 UE 的不同睡眠过程的时间和转换能耗也与 NR 相同。NR 和 LTE 系统下不同的物理层流程的单位相对能耗和时间见表 2, NR 和 LTE 系统下的睡眠转换时间和转换能耗见表 3。如果终端在检测或者处理不同的物理信道或者信号之间的时间间隔大于表 3 中某种睡眠状态的转换时间,终端即可以进入该种睡眠状态,终端在该种睡眠状态下的能耗见表 2。

LTE 空闲态终端检测寻呼的物理层流程和能耗状态时间分布如图 1(a)所示,假设终端需要检测 3 个 CRS 完成时频域跟踪同步,一个 PO 的寻呼概率为 10%(即 90%的 PO 终端只需要检测 PDCCH,10%的 PO 终端既需要检测 PDCCH,也需要检测 PDSCH)。终端在接收 CRS 之前处于深度睡眠状态,之后唤醒连续接收 3 个 CRS,检测 PO,再重新进入深度睡眠状态,根据表 2 和表 3 的参数,计算得出在一个 DRX 周期内,LTE 终端的平均能耗如式(1):

$$P_{\text{LTE}} = \frac{[3 \cdot P_{\text{CRS}} T_{\text{CRS}} + P_{\text{PO}} T_{\text{PO}} + P_{\text{DS}} (T_{\text{DRX}} - 3 \cdot T_{\text{CRS}} - T_{\text{PO}}) + E_{\text{DS}}] / T}{[3 \times 50 \times 1 + 57 \times 1 + 1 \times (1280 - 3 \times 1 - 1) + 450]} = 1.51 \quad (1)$$

其中, $P_{\text{PO}} = 90\% \times P_{\text{PDCCH}} + 10\% \times P_{\text{PDCCH} + \text{PDSCH}} = 57$ 。

NR 空闲态终端检测寻呼的物理层流程和能

表2 空闲态能耗模型 (NR/LTE)

物理层过程	相对能耗	时间/ms	注释
深度睡眠	$P_{DS} = 1$	T_{DS}	取决于 PO 配置
中度睡眠	$P_{LS} = 20$	T_{LS}	取决于 PO 配置
浅度睡眠	$P_{MS} = 45$	T_{MS}	取决于 PO 配置
SSB 处理	$P_{SSB} = 50$	$T_{SSB} = 2$	NR 利用 SSB 同步
CRS 处理	$P_{CRS} = 50$	$T_{CRS} = 1$	LTE 利用 CRS 同步
PDCCH-only 检测	$P_{PDCCH} = 50$		NR 和 LTE 相同
PDCCH+PDSCH 检测	$P_{PDCCH+PDSCH} = 120$		NR 和 LTE 相同
PO 处理	$P_{PO} = 50$ (没有寻呼 PDSCH) $P_{PO} = 120$ (有寻呼 PDSCH)	$T_{PO} = \frac{1}{4}$	LTE 1 ms NR 4 ms

表3 睡眠转换时间和转换能耗 (NR/LTE)

	转换时间/ms	转换能耗
深度睡眠	$T_{DS_r} = 20$	$E_{DS} = 450$
中度睡眠	$T_{LS_r} = 6$	$E_{LS} = 100$
浅度睡眠	$T_{MS_r} = 0$	$E_{MS} = 0$

耗状态时间分布如图 1 (b) 所示, 假设终端也需要检测 3 个 SSB burst 完成时频域跟踪同步。终端在接收 SSB 之前处于深度睡眠状态, 之后唤醒接收 3 个 SSB burst, 检测 PO, 两个 SSB burst 的时间间隔为 18 ms, SSB 和 PO 之间的时间间隔为 8 ms, 终端可以进入中度睡眠状态, 检测完成 PO 之后最后重新进入深度睡眠状态, 根据表 2 和表 3 的参数, 计算得出在一个 DRX 周期内, NR 终端的

平均能耗如式 (2):

$$P_{NR} = [3 \cdot P_{SSB} T_{SSB} + P_{PO} T_{PO} + P_{LS} T_{LS} + E_{LS} + P_{DS} (T_{DRX} - 3 \cdot T_{SSB} - T_{PO} - T_{LS}) + E_{DS}] / T_{DRX} = [3 \times 50 \times 2 + 57 \times 4 + 20 \times (18 + 18 + 8) + 100 \times 3 + 1 \times (1280 - 6 - 4 - 18 - 18 - 8) + 450] / 1280 = 2.64 \quad (2)$$

其中, $P_{PO} = 90\% \cdot P_{PDCCH} + 10\% \cdot P_{PDCCH+PDSCH} = 57$ 。

2.2 空闲态终端能耗问题原因

NR 终端相比于 LTE 终端在空闲态下的能耗提升大约 73%, 主要原因就是 NR 中终端只能利用 20 ms 周期传输的 SSB 进行时频域跟踪同步, 导致终端在检测寻呼之前需要提前唤醒很长一段时间, 终端在提前唤醒的时间内只能进入中度睡眠, 而在 LTE 中这段时间终端处于深度睡眠的状态, 导致 NR 终端空闲态能耗比 LTE 终端提升较

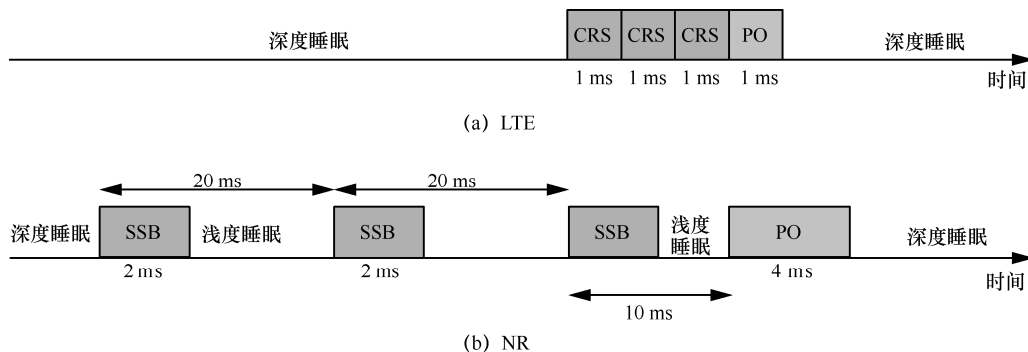


图1 LTE/NR 空闲态终端寻呼检测流程和能耗状态



多, 这是 NR 相比于 LTE 的不足之处。

而造成寻呼检测能耗的另一个问题是寻呼设计本身带来的错误概率问题, 无论是 LTE 还是 NR 为了节省网络侧的信令开销, 寻呼消息都是一个 PO 内的一组终端设计的, 而不是为每个终端单独设计。具体的, 如果这一个 PO 内至少有一个终端需要被寻呼, 这一组的终端都会检测到一个由 P-RNTI 加扰的寻呼 PDCCH, 并且读取 PDCCH 调度的寻呼消息(paging message)。寻呼消息中会指示真正被寻呼的终端 ID, 如果终端发现自己的 ID 与寻呼消息中指示的 ID 相匹配, 则该终端是真正被寻呼的, 需要进入连接态接收数据, 否则终端是没有被真正寻呼的。正是由于终端必须读取寻呼消息才能判断是否真正被寻呼, 导致了一个 PO 内部分没有被寻呼的终端也需要检测寻呼 PDCCH 和接收寻呼 PDSCH, 造成了不必要的能耗开销。极端情况下, 一个 PO 内只有一个终端需要被寻呼, 而其他终端都需要检测寻呼 PDCCH 和 PDSCH, 也就是造成了所谓的寻呼错误检测概率问题, 这个问题是 LTE 和 NR 都存在的, 即使某个终端检测到了寻呼 PDCCH, 也有很大的概率不是真正属于它的寻呼。

3 5G 终端空闲态节能技术

根据第 2 节的分析, 5G 终端空闲态终端能耗问题主要由于周期性的 SSB 传输造成时频域同步过程时间较长, 以及寻呼流程的设计造成终端不必要的寻呼检测。3GPP 在 R17 NR 技术标准中也针对以上两个问题进行终端节能技术的研究和标准化^[2], 预计将于 2021 年 12 月冻结相关技术标准, 本节将基于以上两个问题提出 5G 终端在空闲态的节能优化技术。

3.1 时频域跟踪同步优化

空闲态终端需要连续检测多个周期的 SSB, 造成了终端在检测寻呼的 PDCCH 之前需要唤醒

较长时间, 能耗提升。因此, 降低终端在时频域跟踪同步过程能耗的最简单的方式是为空闲态终端提供更多、更密集的参考信号辅助跟踪同步, 而不仅仅是依赖于 SSB。

为了提高连接态终端的时频域跟踪同步性能, NR 中引入了 TRS (tracking RS) 作为时频域跟踪同步信号, 但是 R15/16 NR 标准中, TRS 只能通过 RRC 专属信令为连接态终端进行配置。对于空闲态终端, 引入额外的 TRS 辅助终端进行寻呼检测之前的时频跟踪同步可以有效降低终端的唤醒时间, 降低能耗。但是 NR 设计初衷引入周期性间隔传输 SSB 而非每个时隙都传输 CRS 的最主要目的是降低网络的参考信号开销、提高频谱效率, 如果为空闲态终端提供额外的辅助 TRS, 需要避免对系统参考信号的开销造成影响、避免形成类似 LTE CRS 一直存在(always-on)的信号。因此, 为空闲态终端配置的额外辅助 TRS 应该是目前网络内已经存在的为其他连接态终端配置的 TRS。

那么如何为空闲态终端提供已经存在网络中的 TRS 的配置信息呢? 一种简单的方法是通过系统消息广播被空闲态的终端使用的 TRS 的配置信息。但是如果该 TRS 的配置信息更改, 或者使用该 TRS 的连接态终端离开小区或者进入非连接态, 导致了网络内没有连接态终端使用该 TRS, 基站只能通过系统消息更新通知空闲态终端其他可以使用的 TRS 配置信息甚至通知终端停止 TRS 服务的信息。由于无法保证连接态终端一直处于本小区的服务下, 或者面向连接态终端的 TRS 的配置保持不变, 基站可能会频繁地进行系统消息变更来更新广播的 TRS 的配置信息或者开关该功能, 甚至导致空闲态终端为了接收 TRS 的配置信息造成更多的额外能耗。如果想一直为空闲态终端提供 TRS 服务, 网络可能不得已将 TRS 这种按需配置的信号, 变成一个需要一直存在的信号, 这就与 NR 设计的初衷不符。

为了解决这个问题, 另一种高效地为空闲态终端提供额外的 TRS 配置信息的方法是通过高层信令通知处于空闲态的终端仍然可以使用其在连接态下已经配置过的 TRS^[3]。配置信息包括: 通知终端在空闲态其在连接态已经配置过的 TRS 是否继续可用、可以继续使用的时间以及可以使用的其他条件。例如, 在 RRC 连接释放消息中, 如图 2 所示, 基站通知终端其在连接态下哪些 TRS 的配置信息在空闲态可用, 可用的时间, 或者指示终端在空闲态可以使用的除 SSB 以外的参考信号的配置信息, 包括参考信号的周期、频域密度、带宽、长度、天线端口等。

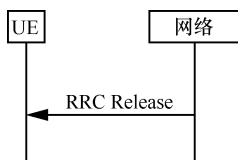


图 2 RRC 连接释放信令流程

在这种方式下, 网络侧可以基于终端的使用特征、地理位置等统计信息, 做到有据可循地配置, 而不是泛泛地将其他终端连接态的配置直接笼统地用于空闲态终端。例如, 对于白天办公室的智能手机终端, 其移动范围有限, 但是由于工作需求, 这些终端不定期有电话、微信等业务将其从空闲态寻呼至连接态。这些终端会在空闲态和连接态之间频繁切换, 基站就可以为其提供额外的 TRS 服务, 持续传输相同的 TRS。但是其他终端例如室外终端, 其移动范围较大, 或者业务量很低的终端, 基站没有必要为其提供 TRS 服务。基站通过终端的网管数据, 例如, 终端进入 RRC 连接态/空闲态的时间比例, 终端的地理位置信息, 综合使用大数据等技术, 通过对过往数据采集分析, 进行是否为某个特定终端提供 TRS 服务、如何配置 TRS 的决策。通过这按需的 TRS 配置方式, 既避免形成一直存在的信号降低系统性能, 又可以针对性地对需要频繁被寻呼唤起的终端提供 TRS 服务, 降低其能耗。

在引入 TRS 之后, 终端检测寻呼的唤醒过程就会缩短, 同时由于 TRS 是一个宽带的参考信号, 终端可以使用更少的 TRS 完成时频域跟踪同步, 另外 TRS 的周期配置比 SSB 的周期 (20 ms) 更短, 终端的同步过程时间可以进一步减少。假设额外 TRS 的周期为 10 ms, 每个周期内发送连续两个时隙的 TRS, 终端只需要 2 个周期的 TRS 进行时频域跟踪同步, 终端检测 TRS 的能耗与 SSB 相同, 终端的寻呼检测流程和能耗状态如图 3 所示。

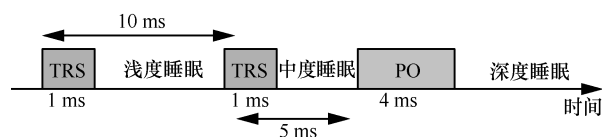


图 3 基于 TRS 的终端寻呼检测流程和能耗状态

根据表 2 和表 3 的参数, 可以计算利用 TRS 进行时频域跟踪同步下空闲态终端的一个 DRX 周期内的平均能耗如式 (3):

$$\begin{aligned}
 P_{NR_TRS} &= [2 \cdot P_{TRS} T_{TRS} + P_{PO} T_{PO} + P_{LS} T_{LS} + E_{LS} + P_{MS} T_{MS} + \\
 &P_{DS} (T_{DRX} - 2 \cdot T_{TRS} - T_{PO} - T_{LS} - T_{MS}) + E_{DS}] / T_{DRX} = \\
 &[2 \times 50 \times 1 + 57 \times 4 + 20 \times 9 + 100 + 45 \times 4 + \\
 &1 \times (1280 - 2 - 4 - 9 - 4) + 450] / 1280 = 1.58
 \end{aligned} \quad (3)$$

其中, $P_{PO} = 90\% \cdot P_{PDCCH} + 10\% \cdot P_{PDCCH+PDSCH} = 57$ 。

相比于利用 SSB 进行时频域同步跟踪, 仅基于 TRS 的时频域同步跟踪就可以节省大约 40% 的能耗。在实际系统中, 终端可以根据基站的 TRS 和 SSB 的周期配置, 选择周期更短或者距离 PO 更近的参考信号进行同步, 实现能耗的最优化。

3.2 寻呼设计优化

根据第 2.2 节的分析, 造成终端能耗的另一个问题是寻呼检测错误概率的问题, 由于一个 PO 内的一组终端都只能检测一个相同的寻呼 PDCCH, 造成了部分终端不必要的寻呼检测能耗。为了解决这一个问题, 一种方法是引入寻呼组指示符 (paging group indicator, PGI), 在终端检测寻呼之前指示终端是否需要检测本次寻呼,



避免不必要的能耗开销。

在 NB-IoT/MTC 技术中已经引入了相关技术节省寻呼能耗, 在 R15 版本中提出了唤醒信号(wake up signal, WUS), 唤醒信号与 PO 具有一一对应的关系, 一组 PO 的终端检测到唤醒信号才会检测之后的 PO。在 R16 的演进技术中, 进一步提出了基于终端分组的唤醒信号(UE-group WUS), 即将一个 PO 组的终端分成多个小组, 每个小组分别对应一个唤醒信号。

在 NR 寻呼中, 也可以采用类似的寻呼组指示的方法, 将一个 PO 组的终端分成多个子组, 利用其他信号或者信道指示哪些子组需要检测之后的 PO。具体的寻呼组指示符的设计可以采用以下两种方式。方式一采用基于序列的寻呼组指示符设计, 也即每一个子组对应一个寻呼组指示符序列, 检测序列的子组终端才需要检测寻呼 PDCCH, 如图 4 所示, 终端子组 1 和 4 检测到了 PGI 序列, 则需要检测当前 PO。该种设计方式采取序列设计, 终端的检测复杂度低, 但是由于每一个终端子组都需要对应一个 PGI 序列, 网络侧的信令开销较大, 尤其是终端分组较多的情况。

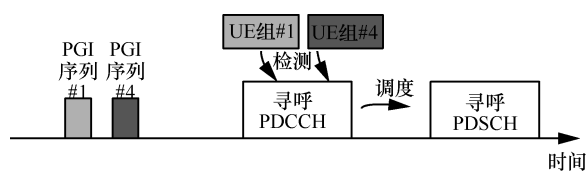


图 4 基于序列的寻呼组指示符设计

方式二采用基于 PDCCH 的寻呼组指示符设计

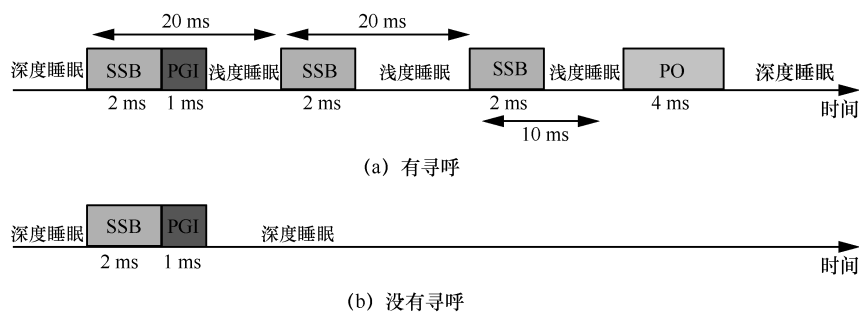


图 6 寻呼指示符下的终端寻呼检测流程和能耗状态

计, 即将 PGI 信息承载在一个 PDCCH 上, 通过 PDCCH 携带的 bitmap 信息指示哪些终端子组需要检测当前 PO, 如图 5 所示。终端子组 1 和 4 对应的比特为 1, 因此这两个终端子组需要检测当前 PO。这种方式的好处是网络侧的信令开销较小, 只需要一个 PDCCH 即可, 并且可以支持更多的终端分组数量, 但是终端检测 PDCCH 的复杂度和能耗开销会比序列检测更大。

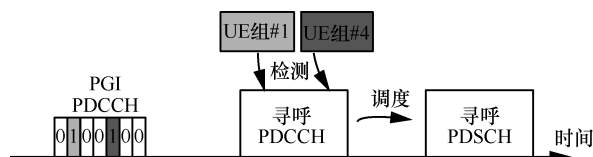


图 5 基于 PDCCH 的寻呼组指示符设计

不管是基于序列还是基于 PDCCH 的 PGI 设计, 终端检测的复杂度都会比正常的 PDCCH 的复杂度较低, 并且不需要精细的时频域跟踪同步。假设终端检测 PGI 之前只需要检测一个 SSB 用作时频域同步跟踪, 检测 PGI 的能耗与 SSB 相同, 并且 PGI 和 SSB 在时域上相邻, 在引入 PGI 之后, 终端的能耗分析如图 6 所示, 并与图 1(b) 作对比。

其中在有寻呼的情况下, 相比于之前的流程, 终端增加了 PGI 的检测能耗, 一个 DRX 周期内的平均能耗为式(4):

$$P_{NR_{w_paging}} = [3 \cdot P_{SSB} T_{SSB} + P_{PGI} T_{PGI} + P_{PO} T_{PO} + P_{LS} T_{LS} + E_{LS} + P_{DS} (T_{DRX} - 3 \cdot T_{SSB} - T_{PGI} - T_{PO} - T_{LS}) + E_{DS}] / T_{DRX} = [(3 \times 50 \times 2 + 50 \times 1 + 57 \times 4 + 20 \times (17 + 18 + 8) + 100 \times 3 + 1 \times (1280 - 6 - 1 - 4 - 17 - 18 - 8) + 450)] / 1280 = 2.67 \quad (4)$$

在没有寻呼的情况下终端不需要检测后续的SSB和寻呼,一个DRX周期内的平均能耗为式(5)。

$$P_{NR_{w/o\text{ paging}}} = [P_{SSB}T_{SSB} + P_{PGI}T_{PGI} + P_{DS}(T_{DRX} - T_{SSB} - T_{PGI}) + E_{DS}] / T_{DRX} = [50 \times 2 + 50 \times 1 + 1 \times (1280 - 2 - 1) + 450] / 1280 = 1.47 \quad (5)$$

由于对一个PO的用户进行了分组,一个子组的寻呼概率会小于一个PO的寻呼概率^[4],假设将一个PO的终端分成了5个子组,则每个子组的寻呼概率为 $1 - (1 - 0.1)^{\frac{1}{5}} = 2\%$,终端在引入了PGI之后的平均能耗为 $2.67 \times 2\% + 1.47 \times 98\% = 1.49$,相比于第2.1节的能耗降低了大约44%。

4 结束语

本文首先进行了5G终端在空闲态下的能耗分析,并对比了LTE终端的能耗,其次分析了造成5G空闲态终端能耗问题的原因。针对5G空闲态终端能耗问题,提出了空闲态终端可持续使用连接态下已配置的TRS辅助时频域跟踪同步,以及引入寻呼组指示符指示避免终端错误检测寻呼的空闲态终端节能方案,并进行了能耗分析,分析结果表明节能方案可以降低5G终端的能耗,为后续5G商用终端的空闲态节能技术指明了方向。同时3GPP R17终端节能项目也正在对相关问题进行研究,本文的研究结果也为3GPP的标准化进程做出贡献。

参考文献:

- [1] 3GPP. Study on UE power saving (release 16): TR 38.840[S]. 2019.
- [2] MediaTek Inc. New WID: UE power saving enhancements[Z]. 2019.
- [3] CMCC. Discussion on TRS/CSI-RS occasion(s) for idle/ inactive-mode UEs[Z]. 2020.
- [4] CMCC. Discussion on paging early indication design [Z]. 2021.
- [5] 朱芹, 李小文. TD-LTE 系统下的 DRX 过程的改进与实现[J]. 电信科学, 2013, 29(6): 110-114, 120.
ZHU Q, LI X W. Improvement and implementation of DRX in TD-LTE system[J]. Telecommunications Science, 2013, 29(6): 110-114, 120.

- [6] 郭杨波, 张治中, 胡昊南, 等. 关于 5G 中继技术的节能算法研究[J]. 电信科学, 2015, 31(3): 55-60.

GUO Y B, ZHANG Z Z, HU H N, et al. Research on energy saving algorithm of 5G relay cellular network[J]. Telecommunications Science, 2015, 31(3): 55-60.

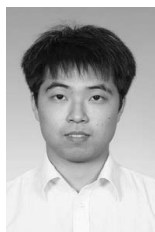
[作者简介]



杨拓 (1992-), 男, 中国移动通信有限公司研究院研究员, 主要从事 4G 和 5G 移动通信网络技术研究、物理层协议设计和标准化工作。



胡丽洁 (1984-), 女, 中国移动通信有限公司研究院资深研究员, 主要从事 4G 和 5G 移动通信网络技术研究、物理层协议设计和标准化工作。



王飞 (1984-), 男, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员, 主要从事 4G 和 5G 移动通信网络技术研究、物理层协议设计和标准化工作。

刘建军 (1979-), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员, 主要从事 4G、5G 和 6G 移动通信网络技术研究工作。

胡南 (1980-), 男, 博士, 中国移动通信有限公司研究院主任研究员, 主要从事 4G 和 5G 移动通信网络技术研究、高层协议设计和标准化工作。

李男 (1981-), 男, 中国移动通信有限公司研究院无线与终端技术研究所副所长, 主要从事 4G 和 5G 移动通信网络技术研究工作。

胡臻平 (1979-), 男, 博士, 中国移动通信集团有限公司技术部资源管理处处长, 主要从事 4G、5G 和 6G 移动通信网络技术研究工作。