

空闲模式下5G NR终端节能

Research on Power Saving Enhancement
Schemes of 5G NR Device in IDLE Mode

增强方案研究

任青¹,王森²,杨东来¹,张建国¹(1. 华信咨询设计研究院有限公司,浙江 杭州 310052;2. 中讯邮电咨询设计研究院有限公司,北京 100048)

Ren Qing¹, Wang Sen², Yang Donglai¹, Zhang Jianguo¹ (1. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310052, China; 2. China Information Technology Designing & Consulting Institute Co., Ltd., Beijing 100048, China)

摘要:

首先阐述了空闲模式下NR终端的功耗和寻呼过程,由于SSB是周期性且以波束扫描的方式发射,空闲模式下NR终端比LTE终端的功耗更高。然后提出了基于PEI的NR终端节能增强方案和寻呼过程,基于DCI的PEI方案具有携带信息量大、复用传统的DCI格式与DCI监听机制、满足检测精度需求这三大优点,并且支持子组划分,这使PEI带来的节能增益达到最大化。最后对基于PEI的NR终端节能增强方案的效果进行了评估,在中低SINR场景下,基于PEI的节能增强方案具有明显的增益。

关键词:

5G NR; 寻呼提前指示; 功耗节约; 寻呼过程; 空闲模式

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2025.02.003

文章编号:1007-3043(2025)02-0012-07

中图分类号:TN929.5

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Abstract:

Firstly, it introduces power consumption and paging procedure of NR device in IDLE mode. Compared with LTE device, more power consumption is needed by NR device in IDLE mode due to SSB being periodic and transmitted in a beam-sweeping fashion. Then, a PEI-based power saving enhancement scheme and paging procedure of NR device are put forward. DCI-based PEI can carry more information, can reuse legacy DCI format and DCI monitoring mechanism and can achieve required detection accuracy, and it supports subgroup division, which maximizes the energy-saving gain brought by PEI. Finally, the effectiveness of the PEI based NR terminal energy-saving enhancement scheme is evaluated, and it shows significant gains in low and medium SINR scenarios.

Keywords:

5G NR; Paging early indication; Power saving; Paging procedure; IDLE mode

引用格式:任青,王森,杨东来,等. 空闲模式下5G NR终端节能增强方案研究[J]. 邮电设计技术,2025(2):12-18.

1 概述

为了节能,空闲模式下的LTE终端和NR终端通常采用非连续接收(Discontinuous Reception, DRX)模式,当网络有数据发送给UE时,则发送寻呼消息以唤醒UE。在1个寻呼周期内,UE需要从休眠状态醒来,以完成自动增益控制(Automatic Gain Control, AGC)、时间/频率跟踪、无线资源管理(Radio Resource Man-

agement, RRM)和寻呼监听等,如果UE使用寻呼无线网络临时标识(Paging Radio-Network Temporary Identifier, P-RNTI)加扰的循环冗余校验(Cyclic Redundancy Check, CRC)解码失败,则UE在寻呼周期的其他时间内继续处于休眠状态。

与LTE终端相比,空闲模式下NR终端的功耗更高,主要原因有如下2点。

a) LTE终端使用连续的小区专用参考信号(Cell-specific Reference Signal, CRS)完成AGC、时间/频率跟踪、RRM等;而NR终端使用同步信号块(Synchroniza-

收稿日期:2024-12-05

tion Signal Block, SSB)来完成AGC、时间/频率跟踪、RRM和寻呼监听等,SSB是周期性传输的,通常情况下周期是20 ms,这就使SSB和寻呼时机(Paging Occasion, PO)之间存在时间间隙。

b) 在LTE中,CRS和寻呼是以广播方式发射的,而在NR中,SSB和寻呼是以波束扫描的方式发射的。因此在每个寻呼周期内,NR终端比LTE终端清醒时间更长,据统计,NR终端清醒的时间大约是LTE终端清醒时间的2倍,导致空闲模式下,NR终端比LTE终端的平均功耗至少高30%。

对于智能手机,空闲模式的时间占比大约是80%;而对于可穿戴设备,空闲模式的时间占比大约是97%,从功耗上看,空闲模式的功耗占比大约是60%。不管是智能手机还是可穿戴设备,空闲模式的功耗都占了终端功耗的大部分,因此有必要对NR终端的寻呼过程进行增强以减少NR终端清醒时间,从而达到NR终端节能的目的^[1]。

2 传统NR终端寻呼过程

UE从长时间休眠状态醒来后,并不知道所驻留的小区以及PDCCH/PDSCH的接收信号质量,因此需要接收一定数量的SSB以完成AGC、时间/频率跟踪、RRM等。

SSB以突发的方式发射,SSB和PO的开始位置之间的间隙从2 ms到20 ms不等。在这个间隙内,UE通常需要从深度睡眠过渡到轻度睡眠状态和接收状态,这将极大地增加UE功耗。

UE需要接收的SSB数量是影响UE功耗的一个关键因素,UE接收的SSB数量依赖于需要补偿的频率误差,也依赖于信道条件。

PDCCH性能对残余频率误差具有很强的鲁棒性,即使频率误差范围达到 ± 0.5 ppm,性能损失通常小于0.2 dB。但是PDSCH性能对频率误差范围非常敏感,PDSCH主导了整个寻呼性能,为了确保与PDCCH类似的小于0.2 dB性能损失,在同步之后,有必要将残余的频率误差范围设置在 ± 0.1 ppm以内^[2]。

在低SINR场景下,UE需要接收2个SSB才能实现残余频率误差低于 ± 0.1 ppm,考虑到在频率校准之前,UE需要额外的1个SSB进行AGC或者进一步压制残余频率误差,因此,在接收PO之前,UE在每个寻呼周期需要接收3个SSB。

在高SINR场景下,1个SSB就能使残余的频率误

差低于 ± 0.1 ppm,因此,在接收PO之前,UE在每个寻呼周期只需接收1个SSB。

传统的NR终端寻呼过程如下^[3]。

a) 在长时间(通常是160~320 ms)休眠后,UE就认为与网络失去了同步,UE本地晶振进入自主运行模式,不再从下行信号得到频率校准,UE使用本地晶振产生的定时参考信号。

b) 从休眠状态醒来后,UE使用检测到的第一个SSB,通过检测主同步信号(Primary Synchronization Signal, PSS)/辅同步信号(Security Synchronization Signal, SSS)峰值方式来获得定时捕获和AGC,即实现粗同步。

c) 在粗同步之后,UE开启前端算法来完成频率和时间补偿估计,来自本地晶振的参考定时时钟根据接收到的SSB的时间和频率进行微调,纠正本地晶振的频率偏移,以达到低于 ± 0.1 ppm频率误差需求。在中低SINR环境下,为了完成本地晶振的调整,UE需要使用额外的SSB来完成频率和定时偏移的微调。

d) UE使用P-RNTI加扰的CRC解调/解码携带寻呼指示的PDCCH。

e) 如果PDCCH解码成功,则解调/解码PDSCH,检索寻呼消息;如果所有的PDCCH都解码失败,则UE返回休眠状态。

f) 如果UE ID被包括在寻呼消息中,UE完成随后的处理,例如基于竞争的随机接入过程等,否则UE返回休眠状态。

1个PO由一组 $S \times X$ 个连续的PDCCH监听时机(Monitoring Occasion, MO)组成,其中 S 是SSB周期内实际发射的SSB的数量,根据频段的不同,取值分别是1~4、1~8或者1~64; X 是每个PO内,一个SSB对应的连续PDCCH MO数量,取值是1~4。

寻呼帧(Paging Frame, PF)和PO的起点由UE ID决定,PF的系统帧号(System Frame Number, SFN)和PO指示(i_s)分别根据式(1)和式(2)计算。

$$(SFN + PF_offset) \bmod T = (T/N) \times (UE_ID \bmod N) \quad (1)$$

$$i_s = \lfloor UE_ID/N \rfloor \bmod N_s \quad (2)$$

式中:

T ——UE的DRX周期,如果没有配置增强非连续接收(enhance Discontinuous Reception, eDRX), T 的最大值是1 024个无线帧,即10.24 s;如果配置了eDRX, T 的最大值是1 024个超帧(1个超帧等于1 024个无线

帧),即10 485.76 s

N ——1个DRX周期内的PF数量,取值是 $1T$ 、 $T/4$ 、 $T/8$ 或者 $T/16$

N_s ——1个PF内PO的数量,取值是1、2或者4

PF_offset——PF的帧偏移

UE_ID——高层定义的UE标识。如果应用了eDRX, $UE_ID = 5G-S-TMSI \bmod 4\ 096$; 如果没有应用eDRX, $UE_ID = 5G-S-TMSI \bmod 1\ 024$ ^[4-5]

3 基于PEI的NR终端节能增强方案

在空闲模式,UE需要监听PO以便检索在寻呼周期内是否有寻呼下行控制信息(Downlink Control Information, DCI),如果成功解码寻呼PDCCH,UE将接收寻呼PDSCH以检索UE是否被寻呼。当UE没有被寻呼时,寻呼PDCCH/PDSCH的不必要接收以及为了同步目的对SSB进行接收增加了UE的功耗。

由于非寻呼周期期间的不必要接收状态过渡和轻度睡眠状态,浪费了UE的大量电量,本文建议采取如下增强措施来减少UE功耗,即在PO之前,发送寻呼提前指示(Paging Early Indication, PEI)消息,指示UE在PO时刻是否监听寻呼PDCCH,如果没有监听到PEI,UE跳过不必要的操作,例如PDCCH/PDSCH接收和SSB处理,立刻进入休眠状态,因此UE避免进入不必要的接收状态过渡和轻度睡眠状态,节约了大量的电量。为了尽可能地减少非休眠状态的持续时间,PEI应该在靠近UE需要接收的第一个SSB的位置传输,UE在完成AGC和时间/频率调整后,恰好接收PEI消息。

PEI的候选信号/信道包括PDCCH的DCI、SSS或跟踪参考信号(Tracking Reference Signal, TRS)/信道状态信息参考信号(Channel State Information-Reference Signal, CSI-RS)。对于基于SSS或TRS/CRS-RS的PEI,应该定义1个或者几个序列或者RS资源,以指示UE是否在PO时刻监听寻呼PDCCH。用于PEI这个特殊目的的SSS或TRS/CSI-RS,由于通常使用半静态配置,不容易复用传统的SSS或TRS/CSI-RS,因此在每个PO之前,通过不同的序列或TRS/CSI-RS的开/关监听动态指示PEI是非常困难的。除此之外,需要定义新的资源单元(Resource Element, RE)来承载SSS或TRS/CSI-RS,增加了系统负荷,同时带来了后向兼容问题。本文建议不采用基于SSS或TRS/CSI-RS的PEI方案,而是采用基于DCI的PEI方案。

基于DCI的PEI方案具有以下优点。

a) 基于DCI的PEI能够比基于序列的PEI携带更多的信息。基于序列的指示通过变换循环位移(Cyclic Shift, CS)、根序列指示、时频资源等方式,只能承载非常有限的信息,而具有 N 个bit的基于DCI的PEI可以承载 2^N 个种类的信息。使用基于DCI的PEI,也可以很容易传送一些辅助信息,例如子组指示、TRS可用指示、空闲UE的CSI-RS指示、寻呼类型(例如RAN寻呼、CN寻呼)等^[6]。

b) 基于DCI的PEI能够复用传统的DCI格式和DCI监听机制。与基于序列的PEI相比,基于DCI的PEI对现有的规范影响更小,这意味着制定标准的工作量更小。例如,可以考虑使用传统的DCI格式1_0、2_6承载PEI或定义新的DCI格式,也可以使用传统的PDCCH搜索空间、控制资源集(Control-resource set, CORESET)配置。除此之外,gNB能够灵活地选择合适的控制信道单元(Control-Channel Element, CCE)聚合等级以适应信道条件和覆盖需求,例如,对于大覆盖范围的小区,使用CCE聚合等级16的PDCCH,而对于小覆盖范围的小区,使用CCE聚合等级8的PDCCH。但是基于序列的PEI很难提供这样的灵活性,这是因为一旦设计或配置完成,覆盖范围就固定了。

c) 基于DCI的PEI能够满足检测精度的需求。基于序列的PEI可能需要在频率域扩展到多个物理资源块(Physical Resource Block, PRB),TRS/CSI-RS甚至可能需要比SSS更大的带宽,这是因为TRS/CSI-RS在每个PRB上最多只有3个RE。更大的频率资源意味着基于序列的PEI非常容易与传统的信道/信号发生资源冲突。基于SSS的PEI的另一个缺点是使用SSS进行小区识别和同步的传统UE可能不支持PEI功能,导致传统UE识别SSS时发生混乱。基于DCI的PEI则不存在上述问题^[7]。

当空闲模式下的UE与其他UE共享PO时,1个bit的PEI指示仅能减少UE处理每个PO的概率。如果共享同一个PO的UE能够进一步划分为多个子组,且子组信息能够在PEI中承载,UE进入简化程序即UE不必接收SSB、浅睡眠过渡和接收PDCCH/PDSCH的概率就会增加,PEI带来的节能增益将会达到最大化。

4 基于PEI的NR终端寻呼过程

为了实现空闲模式下UE节能的目的,3GPP在

Rel-17版本定义了DCI格式2_7。DCI格式2_7可以为1个或者多个UE通知PEI和TRS可用指示,DCI格式2_7的尺寸不大于寻呼DCI的尺寸,即对授权频谱和非授权频谱,最大尺寸分别是41个bit和43个bit。

DCI格式2_7包括以下信息^[8]。

a) 寻呼指示域,共计有 $N_{PO}^{PEI} N_{SG}^{PO}$ 个bit。 N_{PO}^{PEI} 是1个PEI内指示的PO数量,由SIB1中参数PONumPerPEI来配置,取值是1、2、4或8。当1个PEI与2个PF关联且每个PF配置4个PO时, N_{PO}^{PEI} 取最大值8。 N_{SG}^{PO} 是1个PO内的子组数量,由SIB1中参数subgroupsNumPerPO来配置,取值是1~8。 N_{SG}^{PO} 是核心网(CN)指定的子组数量和基于UE ID的子组数量之和。当网络不支持子组划分时, N_{SG}^{PO} 取值是1。

b) TRS可用指示,取值是0、1、2、3、4、5或6个bit。寻呼指示域的第 $(i_{PO} \times K + i_{SG})$ 个bit是网络发送给特定UE的PEI指示。其中 $K = N_{SG}^{PO}$, i_{PO} 是PO地址,可根据式(3)计算:

$$i_{PO} = \left[\left((UE_ID \bmod N) \times N_s + i_s \right) \bmod N_{PO}^{PEI} \right] \quad (3)$$

其中, UE_ID 、 N 、 N_s 和 i_s 的定义见第2章, i_{SG} 是子组指示, $0 \leq i_{SG} < K$, i_{SG} 的计算分为如下2种情况。

(a) 如果是CN指定的子组划分,则通过非接入层(NAS)信令,由接入和移动性管理功能(AMF)为UE分配 i_{SG} (取值是0~7)。

(b) 如果是基于UE ID的子组划分,则根据式(4)计算:

$$i_{SG} = \left[\left[\frac{UE_ID}{N \times N_s} \right] \bmod N_{SG_UEID}^{PO} \right] + (N_{SG}^{PO} - N_{SG_UEID}^{PO}) \quad (4)$$

其中, $N_{SG_UEID}^{PO}$ 是1个PO内基于UE ID的子组数量,通过SIB1中的参数subgroupsNumForUEID通知给UE。 $N_{SG_UEID}^{PO}$ 的值小于或者等于 N_{SG}^{PO} 。

UE在Type2 A-PDCCH公共搜索空间(Common Search Space, CSS)上使用寻呼提前指示RNTI(PEI-RNTI)加扰的CRC监听携带DCI格式2_7的PDCCH,Type2 A-PDCCH CSS可以与剩余最少的系统消息(Remaining Minimum System Information, RMSI)共用搜索空间(SearchSpaceId = 0),也可以是其他的搜索空间。

UE接收PEI的时刻称为PEI时机(PEI occasion, PEI-O),PEI-O所在帧定义为参考帧,参考帧的开始位置被定义为参考点。

1个PEI-O由一组 $S \times X$ 个连续的PDCCH MO组成, S 和 X 的定义见第2章。在多波束操作中,UE假定gNB在所有的波束上重复发射相同内容的PEI,具体在跟踪区内的哪些小区发送PEI,以及在小区内的哪个波束发送PEI,作为实现问题由网络来决定,但是应确保小区内任何位置的UE都可以接收到PEI-O^[9]。

为了确定PEI-O在时域上的具体位置,3GPP Rel-17定义了帧级别和符号级别的2个偏移。

a) 帧偏移。从参考帧到与PEI-O关联的一组PF的第1个PF之间的无线帧数量,由SIB1中参数pei-FrameOffset来定义,取值是0~16。帧偏移的大小依赖于UE所经历的无线环境,也依赖于UE的配置。帧偏移应该确保UE能够接收足够数量的SSB完成同步以正确接收PDSCH。在低SINR场景下,应该确保PEI-O和PO之间至少有2个SSB;在高SINR场景下,PEI-O和PO之间可以是0个或者1个SSB,0个SSB意味着PO使用PEI-O前面的SSB来完成同步。eMBB UE通常是4个接收天线,帧偏移可以配置的小一些;而Red-Cap UE通常是2个接收天线,帧偏移需要配置的大一些。SSB周期通常是20 ms,当SSB周期大于20 ms时,帧偏移要配置的大一些。

b) 符号偏移。从参考点到PEI-O的第1个PDCCH MO之间的符号数量,由SIB1中参数firstPDCCH-MonitoringOccasionOfPEI-O来定义。

基于PEI的NR终端寻呼过程示意如图1所示,具体步骤如下。

a) 根据UE ID,确定一组PF的第1个PF的起点。

b) 根据帧偏移和符号偏移,确定PEI-O的起点。

c) UE使用PEI-RNTI加扰的CRC解码携带DCI格式2_7的PDCCH。

d) 如果携带DCI格式2_7的PDCCH解码成功,则UE读取寻呼指示域的第 $(i_{PO} \times K + i_{SG})$ 个bit信息。如果所有的PDCCH都解码失败,则UE进入深度睡眠状态。

e) 如果发送给UE的PEI指示是“1”,则UE按照第2章的流程,监听PO;如果发送给UE的PEI指示是“0”,则UE进入深度睡眠状态。

对于基于PEI的NR终端寻呼过程有以下2点需要说明。

a) 引入PEI后,网络发送给UE的寻呼消息并不会增加或者减少,因此该方案实际上增加了网络功耗,但是可以节约NR终端的功耗。

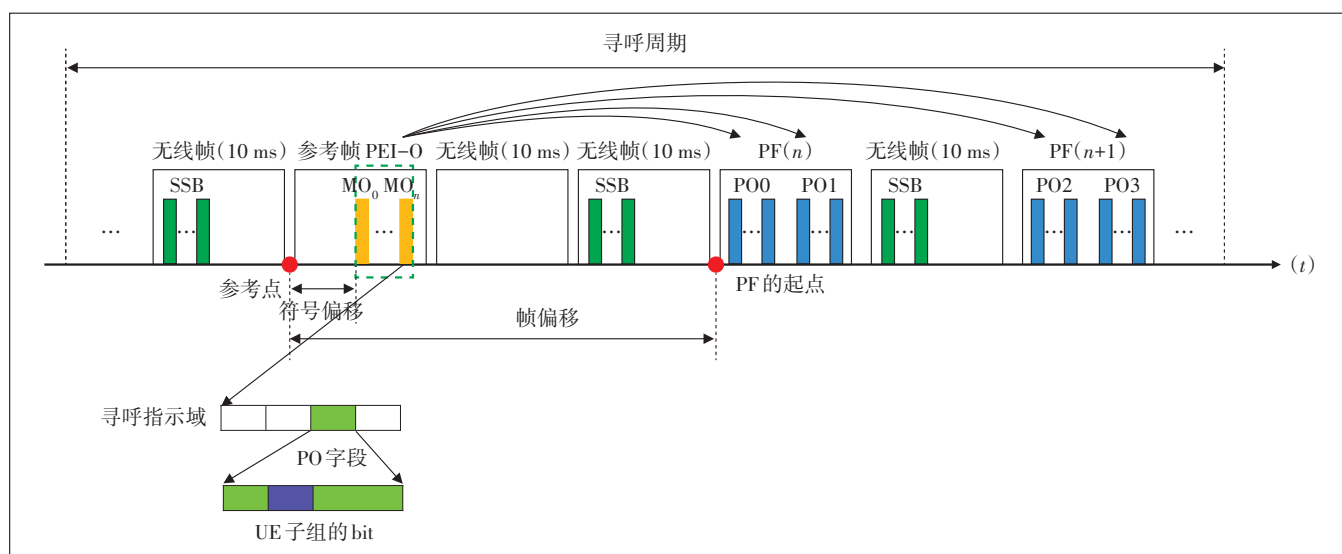


图1 基于PEI的NR终端寻呼过程示意

b) 对于传统的不支持PEI的NR终端,可以忽略PEI的接收,按照传统的NR终端寻呼流程接收寻呼消息即可,因此,该方案允许传统的NR终端和支持PEI的NR终端和谐共存。

5 NR终端节能效果评估

传统的NR终端寻呼假设模型如图2所示,该模型将被作为增强方案节能效果评估的基准。假设基准的寻呼周期是1.28 s;SSB突发周期是20 ms。在低SINR场景下,PO接收时间是4 ms,UE有可能在小区

边缘,假设UE在接收PO后,需要对邻小区进行同频或异频测量;在高SINR场景下,PO接收时间是1 ms,UE不需要对邻小区进行同频或异频测量。

基于PEI的NR终端寻呼假设模型如图3所示。为了达到最大的节能效果,PEI应该在靠近UE需要接收的第1个SSB的位置传输,假设PEI与SSB的时间间隔是1 ms。由于PEI是基于DCI传输的,PDCCH性能对残余频率误差具有很强的鲁棒性,在低SINR场景下,UE接收1个SSB也可以正确解调/解码PDCCH,PEI的接收时间与PO接收时间保持一致,也是4 ms;

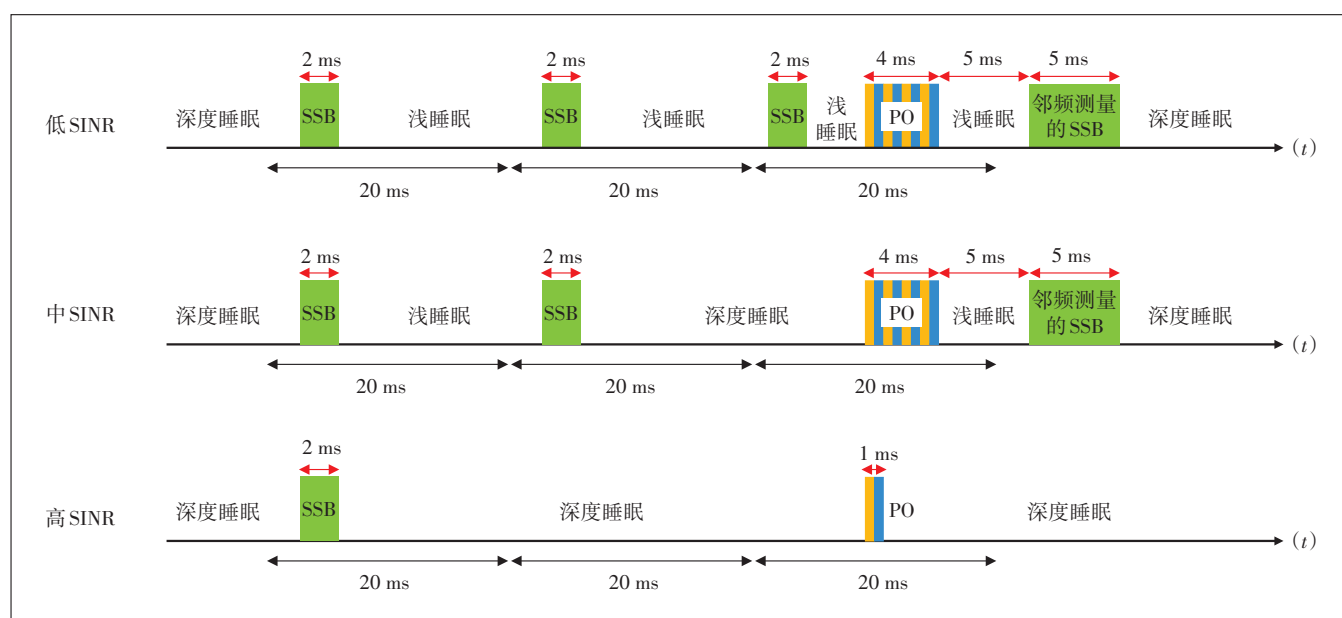


图2 传统的NR终端寻呼假设模型

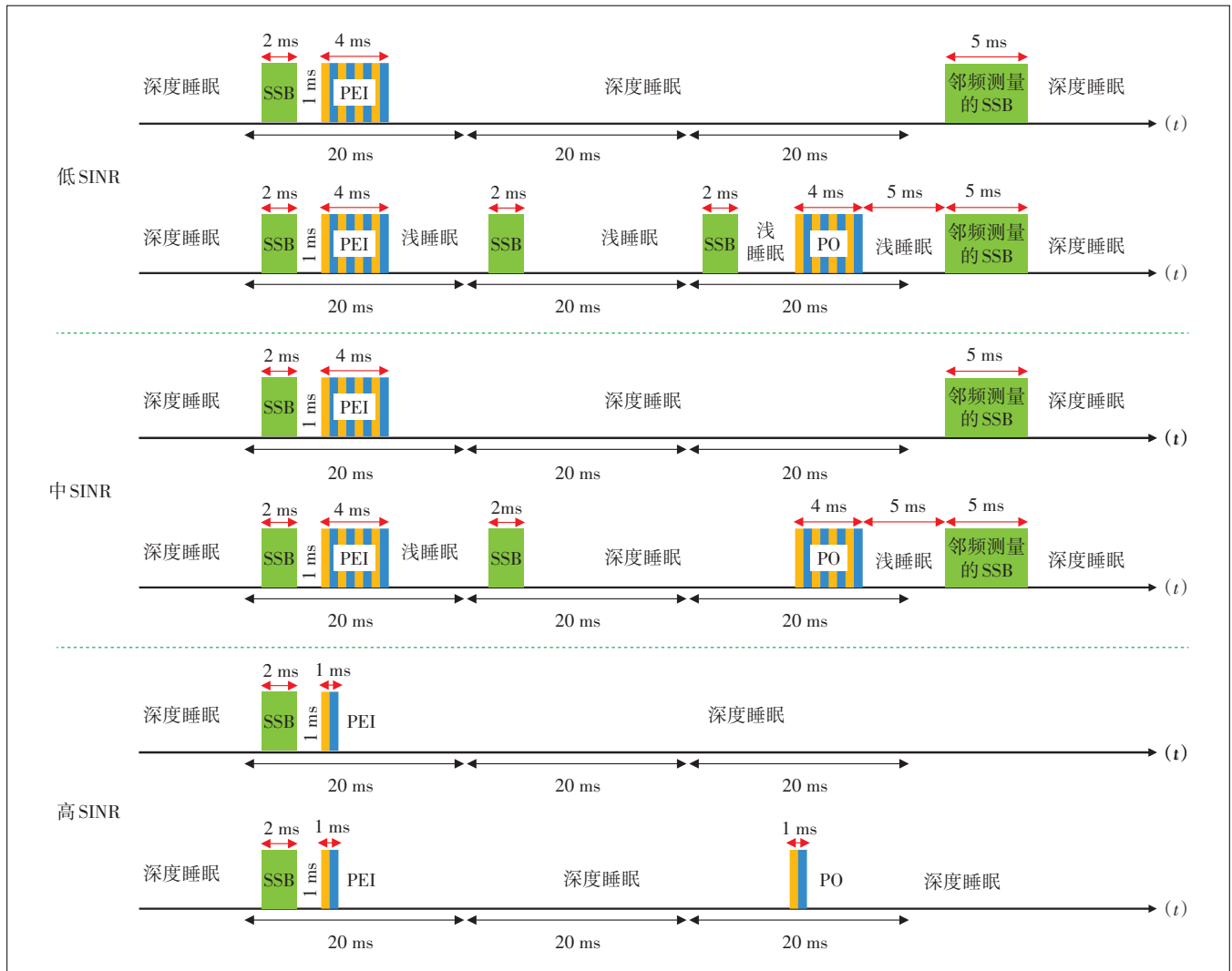


图3 基于PEI的NR终端寻呼假设模型

在高SINR场景下,PEI的接收时间与PO接收时间保持一致,也是 $1\text{ ms}^{[10-12]}$ 。

NR终端的功耗模型如表1所示^[13]。

本文的计算进行如下的假设:UE在空闲模式下,接收带宽是20 MHz;当UE所在PO有寻呼时,PDCCH + PDSCH的接收时间是1 ms,其他时间仅接收

表1 NR终端的功耗模型

功耗状态	相对功率(带宽是100 MHz)	相对功率(空闲模式下接收带宽是20 MHz)
深度睡眠(P_{DS})	1	1
轻度睡眠(P_{LS})	20	20
微睡眠(P_{MS})	45	45
仅PDCCH(P_{PDCCH})	100	50
PDCCH + PDSCH($P_{PDCCH+PDSCH}$)	300	120
仅PDSCH(P_{PDSCH})	280	112
SSB/CSI-RS处理(P_{SSB})	100(同步或服务小区测量)	50
同频RRM测量(P_{intra})	•150(同步场景, $N=8$,仅需要测量; $P_{intra,meas-only}$) •200(合并同步和测量; $P_{intra,search+meas}$)	•60(同步场景, $N=8$,仅需要测量; $P_{intra,meas-only}$) •80(合并同步和测量; $P_{intra,search+meas}$)
异频RRM测量(P_{inter})	•150(仅测量每个频率; $P_{inter,meas-only}$) •150(每个邻区频率的搜索功率; $P_{inter,search-only}$)	•60(仅测量每个频率; $P_{inter,meas-only}$) •150(每个邻区频率的搜索功率; $P_{inter,search-only}$)

PDCCH;异频RRM测量时需要对每个邻区频率进行搜索。

根据以上假设,可以计算出基于PEI的NR终端节能增益(见表2)。

表2 基于PEI的NR终端节能增益

场景	PO寻呼概率:10%			PO寻呼概率:20%			PO寻呼概率:40%		
	子组数=1	子组数=2	子组数=4	子组数=1	子组数=2	子组数=4	子组数=1	子组数=2	子组数=4
低SINR/%	22	23	24	19	22	24	14	20	23
中SINR/%	7	8	8	6	7	8	4	7	8
高SINR/%	-6	-6	-6	-6	-6	-5	-6	-5	-5

从表2可以看出:基于PEI的NR终端寻呼方案,可以显著降低中低SINR场景下NR终端的功耗,但是增加了高SINR场景下NR终端的功耗,这是因为高SINR场景下,NR终端在寻呼周期内基本上处于深度睡眠状态,接收PEI反而额外增加了功耗,因此当NR终端位于小区中心时,可以忽略接收PEI;随着子组数的增加,NR终端节能增益也相应增加,当PO寻呼概率较高时,节能增益更加明显,例如在低SINR场景下,当PO寻呼概率是10%时,相比子组数为1的情况,子组数为4的节能增益只增加了2%;当PO寻呼概率是40%时,相比子组数为1的情况,子组数为4的节能增益又增加了9%。

由于空闲状态下,网络无法知道UE实时的SINR信息,建议根据连接态UE上报的SINR,统计每个小区的SINR分布情况,对平均SINR较低的小区,开启基于PEI的NR终端寻呼方案以便节约UE的功耗,而对平均SINR较高的小区,则不开启基于PEI的NR终端寻呼方案。

6 结束语

与LTE终端相比,空闲模式下NR终端的功耗更高,给对电池寿命有严苛要求的5G规模应用带来了极大的挑战。本文提出了基于PEI的NR终端节能增强方案和寻呼过程,可以显著降低中低SINR场景下NR终端的功耗,通过将同一个PO的UE进一步划分为多个子组,能够在高寻呼概率时使PEI带来的节能增益达到最大化。

参考文献:

- [1] Huawei, HiSilicon. Paging enhancement (s) for UE power saving in IDLE/inactive mode; R1-2007600 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [2] MediaTek Inc. Paging enhancements for idle/inactive-mode UE

power saving; R1-2008964 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

- [3] vivo. Paging enhancements for idle/inactive mode UE power saving; R1-2004532[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [4] 3GPP. NR; user equipment (UE) procedures in idle mode and RRC inactive state; 3GPP TS 38.304 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [5] 3GPP. NR; radio resource control (RRC) ; protocol specification; 3GPP TS 38.331[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [6] Xiaomi. Potential paging enhancements for power saving; R1-2107932[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [7] OPPO. Potential paging enhancements; R1-2100168[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [8] 3GPP. NR; multiplexing and channel coding; 3GPP TS 38.212 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [9] 3GPP. NR; Physical layer procedures for control; 3GPP TS 38.213[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [10] TCL Communication. Remaining issues of paging enhancements for idle/inactive UE power saving; R1-2200155[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [11] OPPO. Further discussion on paging enhancements for power saving; R1-2200331[S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [12] Huawei, HiSilicon. Paging enhancements for UE power saving in IDLE/inactive mode; R1-2110837 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.
- [13] vivo, HiSilicon. Paging enhancements for idle inactive mode UE power saving; R1-2007673 [S/OL]. [2025-01-06]. <ftp://ftp.3gpp.org/Specs/>.

作者简介:

任青,毕业于杭州电子科技大学,高级工程师,主要从事移动通信咨询规划、技术研究工作;王森,高级工程师,注册咨询师,硕士,主要从事运营商移动通信网络规划建设和解决方案课题研究工作;杨东来,毕业于北京邮电大学,高级工程师,学士,主要从事无线网络的规划和设计工作;张建国,毕业于南京邮电学院,正高级工程师,硕士,主要从事无线网络的规划和设计工作。