



中华人民共和国国家标准

GB/T 38641—2020

信息技术 系统间远程通信和信息交换 低功耗广域网媒体访问控制层和 物理层规范

Information technology—Telecommunications and information exchange
between systems—Media access control and physical layer specifications
for low power wide area network

2020-04-28 发布

2020-11-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前言 III

1 范围 1

2 术语和定义、缩略语..... 1

 2.1 术语和定义 1

 2.2 缩略语 1

3 概述 3

4 物理层 3

 4.1 上行物理信道 3

 4.2 下行物理信道 16

 4.3 物理层通用处理 28

 4.4 物理层过程 28

5 MAC 层 47

 5.1 MAC 协议格式 47

 5.2 MAC 过程 57

 5.3 变量和常量 70

参考文献 73



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由全国信息技术标准化技术委员会(SAC/TC 28)提出并归口。

本标准主要起草单位:中国电子技术标准化研究院、中兴通讯股份有限公司、福州物联网开放实验室有限公司、中国移动通信集团设计院有限公司、北京工业大学、深圳市盛路物联通讯技术有限公司。

本标准主要起草人:韩丽、陆婷、方惠英、卓兰、杨宏、张弛、沙秀斌、杨维维、刘锬、刘旭、戴博、孙波、李孟良、赵向阳、许晖、王新芳、方娟、周维、杜光东。



信息技术 系统间远程通信和信息交换

低功耗广域网媒体访问控制层和物理层规范

1 范围

本标准规定了采用 NB-IoT 技术的低功耗广域网媒体访问控制层和物理层规范,包括物理层的上下行物理信道、通用处理和过程,媒体访问控制层的协议格式和通信过程。

本标准适用于低功耗广域网相关设备产品的研发和设计。

2 术语和定义、缩略语

2.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1.1

锚定载波 anchor carrier

用户设备接收 NPSS/NSSS/SIB-NB 的载波。

2.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ACK:确认(Acknowledge)

ARQ:自动重传请求(Automatic Repeat Request)

BCCH:广播控制信道(Broadcast Control CHannel)

BCH:广播信道(Broadcast CHannel)

BPSK:二进制相移键控(Binary Phase Shift Keying)

BSR:缓存状态报告(Buffer Status Report)

BS:缓存区数据量大小(Buffer Size)

CCCH:公共控制信道(Common Control CHannel)

CRC:循环校验码(Cyclic Redundancy Code)

C-RNTI:小区-RNTI(Cell RNTI)

DCI:下行控制信息(Downlink Control Information)

DL-SCH:下行链路共享信道(DownLink Shared CHannel)

DPR:数据量和功率余量报告(Data volume and Power headroom Report)

DRX:不连续接收(Discontinuous Reception)

eNB:演进型 UMTS 陆地无线接入基站(E-UTRA NodeB)

E-UTRA:演进型 UMTS 陆地无线接入(Evolved UMTS Terrestrial Radio Access)

E-UTRAN:演进型 UMTS 陆地无线接入网络(E-UTRA Network)

GSM:全球移动通信系统(Global System for Mobile Communication)

HARQ:混合自动重传请求(Hybrid Automatic Repeat Request)

LCG:逻辑信道组(Logical CHannel Group)
LCID:逻辑信道标识(Logical Channel Identity)
LTE:长期演进(Long Term Evolution)
MAC:媒体访问控制(Medium Access Control)
MME:移动性管理实体(Mobility Management Entity)
NACK:否定确认(Negative ACKnowledge)
NAS:非接入层(Non Access Stratum)
NB-IoT:窄带物联网(Narrow Band Internet of Things)
NCCE:窄带控制信道单元(Narrowband Control Channel Element)
NDI:新数据指示符(New Data Indicator)
NPRACH:窄带物理随机接入信道(Narrowband Physical Random Access CHannel)
NPSS:窄带主同步信号(Narrowband Primary Synchronization Signal)
NRS:窄带参考信号(Narrowband Reference Signal)
NPUSCH:窄带物理上行信道(Narrowband Physical Uplink Share CHannel)
NSSS:窄带辅同步信号(Narrowband Secondary Synchronization Signal)
OFDM:正交频分复用(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
PCH:寻呼信道(Paging CHannel)
PDU:分组数据单元(Packet Data Unit)
PDCCH:物理下行控制信道(Physical Downlink Control CHannel)
PDSCH:物理下行共享信道(Physical Downlink Shared CHannel)
PUSCH:物理上行共享信道(Physical uplink shared CHannel)
PDCP:分组数据汇聚协议(Packet Data Convergence Protocol)
PHY:物理层(PHYsical layer)
PRACH:物理随机接入控制信道(Physical Random Access control CHannel)
QPSK:四相相移键控(Quadrature Phase Shift Keying)
RA-RNTI:随机接入 RNTI(Random Access RNTI)
RLC:无线链路控制(Radio Link Control)
RNTI:无线网络临时标识符(Radio Network Temporary Identifier)
RRC:无线资源控制(Radio Resource Control)
RTT:往返时延(Round-Trip Time)
SC-FDMA:单载波频分多址(Single-Carrier Frequency Division Multiple Access)
SDU:服务数据单元(Service Data Unit)
SI-RNTI:系统消息 RNTI(System Information RNTI)
SIB-NB:窄带系统信息块(System Information Block-Narrowband)
SR:调度请求(Scheduling Request)
SRS:探测参考信号(Sounding Reference Symbol)
TAG:定时提前组(Timing Advance Group)
TB:传输块(Transport Block)
TTI:传输时间间隔(Transmission Time Interval)
UE:用户设备(User Equipment)
UL:上行链路(UpLink)
UL-SCH:上行链路共享信道(UpLink Shared CHannel)
UMTS:通用移动通信系统(Universal Mobile Telecommunications System)

3 概述

基于 NB-IoT 技术的低功耗广域网,在优化配置网络下,可满足最大耦合损耗 164 dB 的极端覆盖目标,终端使用 1.5AA 电池可以工作十年。低功耗广域网的协议栈见图 1,其中 UE 指移动设备和通用用户识别模块,eNB 指为一个小区或多个小区服务的无线收发设备。UE 和 eNB 之间的无线接口用来建立、重配置和释放各种无线承载业务,根据具体承载数据的类型分为控制面和用户面两种类型。控制面用来完成信令的承载,用来控制一个呼叫流程建立、维护和释放;用户面用来完成业务数据的承载,比如语音、数据等。

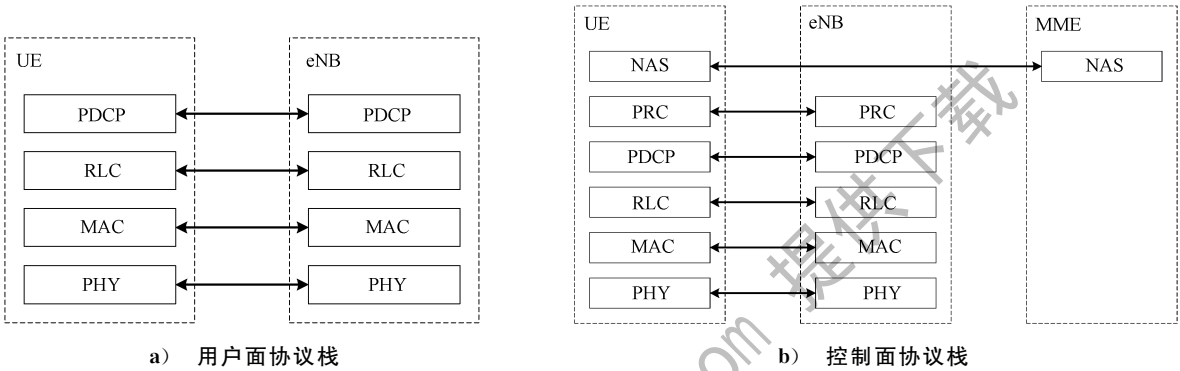


图 1 低功耗广域网的协议栈

用户面协议栈包括 PDCP、RLC、MAC 和 PHY 层,控制面协议栈包括 NAS、RRC、PDCP、RLC、MAC 和 PHY 层,本标准仅涉及用户面和控制面的 MAC 和 PHY 层。

注:其他协议子层的技术规范由后续制定的相关标准规定。

4 物理层

4.1 上行物理信道

4.1.1 物理信道和物理信号

上行物理信道包括窄带物理上行共享信道和窄带物理随机接入信道,上行窄带物理信号为窄带解调参考信号。其中窄带物理上行共享信道包含两种格式:

- 窄带物理上行共享信道格式 1:用于携带上行数据;
- 窄带物理上行共享信道格式 2:用于携带上行控制信息。

4.1.2 时隙结构和物理资源

4.1.2.1 资源格

每个时隙中的传输信道或信号可用一个或多个资源格表示,每个资源格由 N_{sc}^{UL} 个子载波和 N_{sym}^{UL} 个 SC-FDMA 符号组成, T_{slot} 为窄带时隙结构的长度,资源格结构如图 2 所示。每个无线帧中时隙数目记为 n_s ,其中子载波间隔等于 15 kHz 时, $n_s \in \{0,1,\dots,19\}$,子载波间隔等于 3.75 kHz 时, $n_s \in \{0,1,\dots,4\}$ 。

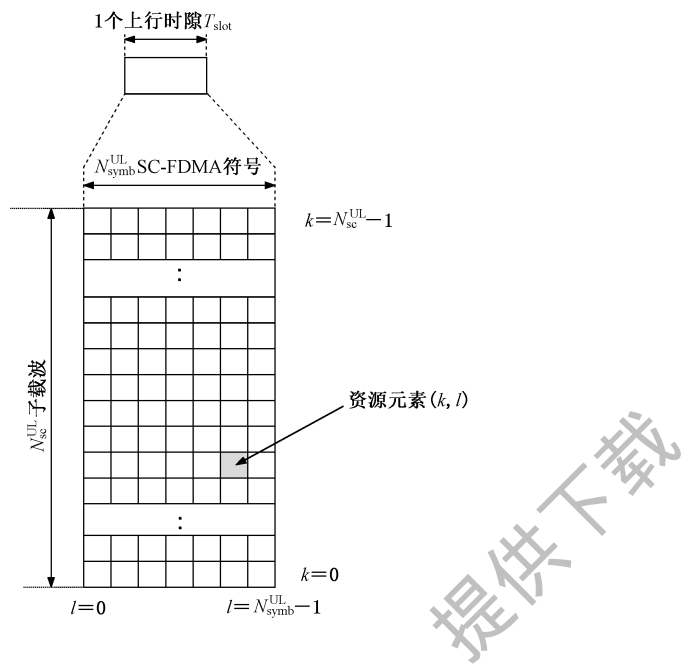


图 2 上行资源格

上行带宽与子载波数 N_{sc}^{UL} 和时隙长度 T_{slot} 的关系如表 1 所示。

表 1 带宽和时隙参数

子载波间隔	N_{sc}^{UL}	T_{slot}
3.75 kHz	48	$61\,440 \cdot T_s$
15 kHz	12	$15\,360 \cdot T_s$
注： $T_s = 1/(15\,000 \times 2\,048) s$		

天线端口为 0 号的单一天线端口被用于所有上行传输。

4.1.2.2 资源元素

资源格中每个单元称为资源元素，对应唯一的序号对 (k, l) ，其中 $k = 0, \dots, N_{sc}^{UL} - 1$ 和 $l = 0, \dots, N_{symb}^{UL} - 1$ 分别是频域和时域索引。资源元素 (k, l) 对应一个复数值 $a_{k,l}$ 。对于不用于传输物理信道或物理信号的资源元素， $a_{k,l}$ 的值应置为 0。

4.1.2.3 资源单元

资源单元是窄带物理上行共享信道至资源元素的映射。时域中连续 $N_{symb}^{UL} \times N_{slots}^{UL}$ 个 SC-FDMA 符号和频域中连续 N_{sc}^{RU} 个子载波被定义为物理资源单元，其中，对于不同的 Δf (子载波间隔)， N_{symb}^{UL} (一个时隙中包含的符号个数)， N_{slots}^{UL} (一个资源单元包含的上行时隙个数) 和 N_{sc}^{RU} (一个资源单元包含的子载波个数) 的取值见表 2。

表 2 资源单元参数组合

窄带物理上行共享信道格式	Δf	N_{sc}^{RU}	N_{slots}^{UL}	N_{symb}^{UL}
格式 1	3.75 kHz	1	16	7
	15 kHz	1	16	
		3	8	
		6	4	
		12	2	
格式 2	3.75 kHz	1	4	
	15 kHz	1	4	

4.1.3 窄带物理上行共享信道

4.1.3.1 加扰

对每个码字 q ，比特块记为 $b^{(q)}(0), \dots, b^{(q)}(M_{bit}^{(q)} - 1)$ ，其中 $M_{bit}^{(q)}$ 为窄带物理上行共享信道中每个子帧传输的比特数，调制前由 UE 特定的扰码序列进行加扰，生成比特块 $\tilde{b}^{(q)}(0), \dots, \tilde{b}^{(q)}(M_{bit}^{(q)} - 1)$ ，添加扰码的规则如式(1)所示：

$$\tilde{b}^{(q)}(i) = (b^{(q)}(i) + c^{(q)}(i)) \bmod 2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

i ——码字的索引号， $0 \leq i < M_{bit}^{(q)}$ ；

$c^{(q)}(i)$ ——扰码序列，定义见 4.3.1。

扰码序列生成器的初始化如式(2)所示：

$$c_{init} = n_{RNTI} \times 2^{14} + n_f \bmod 2 \times 2^{13} + \lfloor n_s/2 \rfloor \times 2^9 + N_{ID}^{Ncell} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

n_s ——码字传输的第一个时隙对应的时隙索引；

n_f ——码字传输的第一个无线帧对应的帧索引。

当窄带物理上行共享信道重复传输时，扰码序列根据式(2)在每 $M_{identical}^{NPUSCH}$ 个码字传输后重新进行初始化，以 n_s 和 n_f 作为第一个时隙和帧进行重传。 $M_{identical}^{NPUSCH}$ 的大小见 4.1.3.6。

4.1.3.2 调制

扰码比特块 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{bit} - 1)$ 根据 4.3.2 进行调制，得到 $d(0), \dots, d(M_{symb} - 1)$ 的复值符号块。表 3 给出窄带物理上行共享信道的调制方案。

表 3 窄带物理上行共享信道调制方案

窄带物理上行共享信道格式	N_{sc}^{RU}	调制方案
1	1	BPSK, QPSK
	>1	QPSK
2	1	BPSK

4.1.3.3 层映射

每个码字的复值符号映射到物理层,码字 q 的复值调制符号映射到层 $x(i) = [x^{(0)}(i) \dots x^{(v-1)}(i)]^T, i=0,1,\dots,M_{\text{symb}}^{\text{layer}}-1$,其中层数 $v=1, M_{\text{symb}}^{\text{layer}}$ 是调制符号个数。

4.1.3.4 变换预编码

复值符号块 $d(0), \dots, d(M_{\text{symb}}-1)$ 被分为 $\frac{M_{\text{symb}}}{M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}}$ 个子集,每一个子集对应一个 SC-FDMA 符号。

变换预编码如式(3)所示。

$$z(l \cdot M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}} + k) = \frac{1}{\sqrt{M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}}} \sum_{i=0}^{M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}-1} d(l \cdot M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}} + i) e^{-j \frac{2\pi i k}{M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

k ——窄带物理上行共享信道的子载波索引号, $k=0, \dots, M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}-1$;

l ——子集索引号, $l=0, \dots, M_{\text{symb}}/M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}}-1$ 。

通过变换预编码得到复值符号块 $z(0), \dots, z(M_{\text{symb}}-1)$ 。变量 $M_{\text{sc}}^{\text{NPUSCH}} = M_{\text{RB}}^{\text{NPUSCH}} \cdot N_{\text{sc}}^{\text{RB}}$, 其中 $M_{\text{RB}}^{\text{NPUSCH}}$ 表示窄带物理上行共享信道带宽内的资源块数。

4.1.3.5 预编码

对于输入的矢量块 $[y^{(0)}(i) \dots y^{(v-1)}(i)]^T, i=0,1,\dots,M_{\text{symb}}^{\text{layer}}-1$, 预编码输出的映射到资源单元中的矢量块为 $[z^{(0)}(i) \dots z^{(P-1)}(i)]^T, i=0,1,\dots,M_{\text{symb}}^{\text{ap}}-1, M_{\text{symb}}^{\text{ap}} = M_{\text{symb}}^{\text{layer}}$ 。预编码定义如式(4)所示:

$$z^{(0)}(i) = y^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$i=0,1,\dots,M_{\text{symb}}^{\text{ap}}-1$ 。

4.1.3.6 物理资源映射

窄带物理上行共享信道映射到一个或多个资源单元,资源单元数记为 N_{RU} ,每个资源单元可被传输 $M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}$ 次。

复值信号块 $z(0), \dots, z(M_{\text{symb}}^{\text{ap}}-1)$ 应与幅度比例因子 β_{NPUSCH} 相乘,并从 $z(0)$ 开始按顺序映射至传输窄带物理上行共享信道的子载波上。根据用于传输参考信号和不用于传输参考信号的子载波分配情况,资源元素 (k, l) 在每个资源单元的映射从第一个时隙开始,先按照序号 k 递增的顺序,然后按照 l 递增的顺序进行映射。当映射至 N_{slots} 个时隙后,已映射的 N_{slots} 个时隙应额外重复 $M_{\text{identical}}^{\text{NPUSCH}}-1$ 次。

其中, $M_{\text{identical}}^{\text{NPUSCH}}$ 定义如式(5)所示, N_{slots} 定义如式(6)所示:

$$M_{\text{identical}}^{\text{NPUSCH}} = \begin{cases} \min(\lceil M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}/2 \rceil, 4) & N_{\text{sc}}^{\text{RU}} > 1 \\ 1 & N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$N_{\text{slots}} = \begin{cases} 1 & \Delta f = 3.75 \text{ kHz} \\ 2 & \Delta f = 15 \text{ kHz} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6)$$

如果 N_{slots} 个时隙映射或重复映射过程中,出现与窄带物理随机接入信道资源相重叠的资源元素,则:

- 对于 $\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$, 原来在重叠的 N_{slots} 个时隙中的窄带物理上行共享信道传输将会推迟到不与任何已配置的窄带物理随机接入信道资源重叠的 N_{slots} 个时隙上发送;
- 对于 $\Delta f = 15 \text{ kHz}$, 原来在重叠的 N_{slots} 个时隙中的窄带物理上行共享信道传输将会推迟到不与任何已配置的窄带物理随机接入信道资源重叠且第一个时隙满足 $n_s \bmod 2 = 0$ 的 N_{slots} 个

时隙发送。

$z(0), \dots, z(M_{\text{symb}}^{\text{ap}} - 1)$ 的映射将重复执行至 $M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}} N_{\text{RU}} N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ 个时隙传输完成。当窄带物理上行共享信道的传输时间和/或由于与窄带物理随机接入信道资源重叠导致的窄带物理上行共享信道延迟时间达到 $256 \times 30\,720 T_s$ 时,需要插入 $40 \times 30\,720 T_s$ 长度的间隔,窄带物理上行共享信道推迟到间隔后发送。

如果与窄带物理随机接入信道重叠导致的延迟部分和间隔冲突,应作为间隔的一部分。

当高层参数 NPRACH-AllSymbols 为“假”时,窄带物理上行共享信道的资源映射应包含与高层参数 srs-SubframeConfig 中配置的 SRS 符号重叠的 SC-FDMA 资源元素,但这些重叠的资源元素不用于窄带物理上行共享信道的传输。当高层参数 NPRACH-AllSymbols 设置为“真”时,所有符号均传输。

4.1.4 窄带物理随机接入信道

4.1.4.1 时频结构

物理层随机接入前导码是基于单载波跳频符号组,如图 3 所示。随机接入符号组包括长度为 T_{CP} 的循环前缀和 5 个相同符号组成总长度为 T_{SEQ} 的序列部分。



图 3 随机接入符号组

表 4 随机接入前导参数

前导结构	T_{CP}	T_{SEQ}
0	$2\,048 T_s$	$5 \times 8\,192 T_s$
1	$8\,192 T_s$	$5 \times 8\,192 T_s$

连续传输的 4 个符号组组成的前导码支持 $N_{\text{rep}}^{\text{NPRACH}}$ 次重复传输。MAC 层触发的随机接入前导码限定在某个时间和频率资源上发送。高层提供的窄带物理随机接入信道配置包含以下内容:

- 窄带物理随机接入信道资源周期性 $N_{\text{period}}^{\text{NPRACH}}$;
- 分配给窄带物理随机接入信道的第一个子载波频率位置 $N_{\text{scoffset}}^{\text{NPRACH}}$;
- 分配给窄带物理随机接入信道的子载波数 $N_{\text{sc}}^{\text{NPRACH}}$;
- 分配给 UE 的随机接入起始子载波数量 $N_{\text{sc_cont}}^{\text{NPRACH}}$;
- 每个窄带物理随机接入信道尝试的重复次数 $N_{\text{rep}}^{\text{NPRACH}}$;
- 窄带物理随机接入信道开始时间 $N_{\text{start}}^{\text{NPRACH}}$;
- 用于计算指示 UE 支持多载波 Msg3 传输的窄带物理随机接入信道子载波范围起始子载波索引的分式 $N_{\text{MSG3}}^{\text{NPRACH}}$ 。

窄带物理随机接入信道仅可在满足 $n_f \bmod (N_{\text{period}}^{\text{NPRACH}}/10) = 0$ 无线帧起始时刻之后的 $N_{\text{start}}^{\text{NPRACH}} \times 30\,720 T_s$ 个时间单元后开始传输。窄带物理随机接入信道传输 $4 \times 64 (T_{\text{CP}} + T_{\text{SEQ}})$ 个时间单元后,应插入 $40 \times 30\,720 T_s$ 个时间单元的间隙。

当 $N_{\text{scoffset}}^{\text{NPRACH}} + N_{\text{sc}}^{\text{NPRACH}} > N_{\text{sc}}^{\text{UL}}$ 时,窄带物理随机接入信道配置无效。

分配给 UE 的随机接入窄带物理随机接入信道起始子载波分为两个部分,即 $\{0, 1, \dots, N_{\text{sc_cont}}^{\text{NPRACH}} N_{\text{MSG3}}^{\text{NPRACH}} - 1\}$ 以及 $\{N_{\text{sc_cont}}^{\text{NPRACH}} N_{\text{MSG3}}^{\text{NPRACH}}, \dots, N_{\text{sc_cont}}^{\text{NPRACH}} - 1\}$,若存在第二部分,则表示 UE 支持多载波 Msg3 传输。

窄带物理随机接入信道频率位置约束为 $N_{\text{sc}}^{\text{RA}} = 12$ 个子载波之内。12 个子载波内可使用跳频,其中第 i 个符号组的频率位置如式(7)所示:

$$n_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i) = n_{\text{start}} + \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i) \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

n_{start} ——定义如式(8)所示;

$\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i)$ ——定义如式(9)或式(10)所示。

$$n_{\text{start}} = N_{\text{scoffset}}^{\text{NPRACH}} + \left\lfloor \frac{n_{\text{init}}}{N_{\text{sc}}^{\text{RA}}} \right\rfloor \cdot N_{\text{sc}}^{\text{RA}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i) = \begin{cases} (\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) + f(i/4)) \bmod N_{\text{sc}}^{\text{RA}} & i \bmod 4 = 0 \text{ and } i > 0 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) + 1 & i \bmod 4 = 1, 3 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \bmod 2 = 0 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) - 1 & i \bmod 4 = 1, 3 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \bmod 2 = 1 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) + 6 & i \bmod 4 = 2 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) < 6 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) - 6 & i \bmod 4 = 2 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \geq 6 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i) = \begin{cases} (\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) + f(i/4)) \bmod 6 + 6 \cdot ((i/4) \bmod 2) & i \bmod 4 = 0 \text{ and } i > 0 \text{ and } 0 \leq \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) < 6 \\ (\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) + f(i/4)) \bmod 6 + 6 \cdot ((i/4 - 1) \bmod 2) & i \bmod 4 = 0 \text{ and } i > 0 \text{ and } 6 \leq \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) < N_{\text{sc}}^{\text{RA}} \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) + 1 & i \bmod 4 = 1, 3 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \bmod 2 = 0 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) - 1 & i \bmod 4 = 1, 3 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \bmod 2 = 1 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) + 6 & i \bmod 4 = 2 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) < 6 \\ \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) - 6 & i \bmod 4 = 2 \text{ and } \tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i-1) \geq 6 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$\tilde{n}_{\text{sc}}^{\text{RA}}(0) = n_{\text{init}} \bmod N_{\text{sc}}^{\text{RA}}$, n_{init} 为 MAC 层从 $\{0, 1, \dots, N_{\text{sc}}^{\text{NPRACH}} - 1\}$ 中选择的子载波;

$f(t)$ 定义如式(11)所示且 $f(-1) = 0$ 。

$$f(t) = (f(t-1) + \left(\sum_{n=10t+1}^{10t+9} c(n) 2^{n-(10t+1)} \right) \bmod (N_{\text{sc}}^{\text{RA}} - 1) + 1) \bmod N_{\text{sc}}^{\text{RA}} \quad \dots\dots (11)$$

式中:

$c(n)$ ——伪随机序列,在 4.3.1 中定义,随机序列生成器初始化为 $c_{\text{init}} = N_{\text{ID}}^{\text{Ncell}}$ 。

4.1.4.2 基带信号生成

符号组 i 的时间连续随机接入信号 $s_i(t)$ 定义如式(12)所示:

$$s_i(t) = \beta_{\text{NPRACH}} e^{j2\pi(n_{\text{sc}}^{\text{RA}}(i) + Kk_0 + 1/2)\Delta f_{\text{RA}}(t - T_{\text{CP}})} \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中:

β_{NPRACH} ——幅值因子,乘以幅值因子 β_{NPRACH} 是为满足发射功率 $P_{\text{NPRACH}} = \min\{P_{\text{CMAX,c}}(i), \text{NAR-ROWBAND_PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER} + PL_c\}$ [dBm]的要求;

Δf_{RA} ——随机接入前导的子载波间隔,取值见表 5;

$0 \leq t < T_{\text{SEQ}} + T_{\text{CP}}$;

$k_0 = -N_{\text{sc}}^{\text{UL}}/2$;

$K = \Delta f / \Delta f_{\text{RA}}$, 表示随机接入前导与上行数据传输之间的子载波间隔差别。

表 5 随机接入基带参数

前导结构	Δf_{RA}
0,1	3.75 kHz

4.1.4.3 100 km 小区半径的增强随机接入信道

100 km 小区半径的增强窄带物理随机接入信道是基于 1.25 kHz 的子载波间隔。在窄带物理随机接入信道前导码结构中采用 3 级基于窄带物理随机接入信道符号组的跳频结构,如图 4 所示。

第 1 个窄带物理随机接入信道符号组(SG0)和第 2 个符号组(SG1)间采用 1.25 kHz 的跳频间隔;

第 2 个窄带物理随机接入信道符号组(SG1)和第 3 个符号组(SG2)间采用 7.5 kHz 的跳频间隔(6 倍子载波间隔);

第 3 个窄带物理随机接入信道符号组(SG2)和第 4 个符号组(SG3)间采用 -1.25 kHz 的跳频间隔;

第 4 个窄带物理随机接入信道符号组(SG3)和第 5 个符号组(SG4)间采用 -7.5 kHz 的跳频间隔(6 倍子载波间隔);

第 5 个窄带物理随机接入信道符号组(SG4)和第 6 个符号组(SG5)间采用 30 kHz 的跳频间隔(24 倍子载波间隔);

第 6 个窄带物理随机接入信道符号组(SG5)和第 7 个符号组(SG6)间采用 -30 kHz 的跳频间隔(24 倍子载波间隔)。

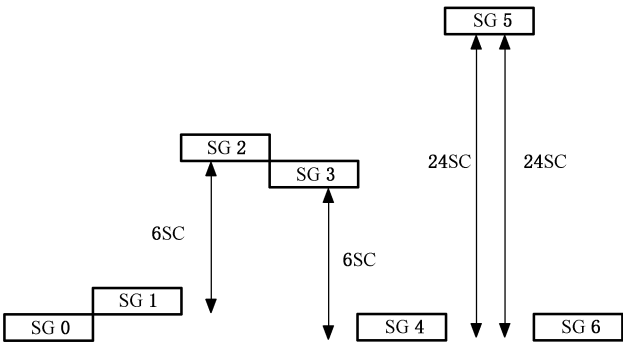


图 4 100 km 小区半径的增强接入信道结构

其中,每个窄带物理随机接入信道符号组由 1 个循环前缀和 2 个符号组成,如图 5 所示。

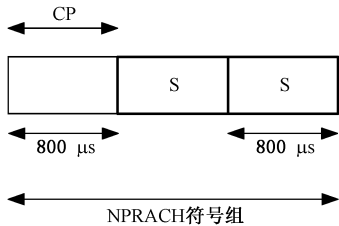


图 5 100 km 小区半径的增强接入信道的窄带物理随机接入信道符号组

4.1.5 解调参考信号序列

4.1.5.1 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时的参考信号序列

$N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时参考信号序列 $\bar{r}_u(n)$ 定义如式(13)所示:

$$\bar{r}_u(n) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1+j)(1-2c(n))w(n \bmod 16), 0 \leq n < M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}} N_{\text{slots}}^{\text{UL}} N_{\text{RU}} \quad \dots\dots (13)$$

其中:

二进制序列 $c(n)$ 在 4.3.1 中定义,在窄带物理上行共享信道传输开始时定义 $c_{\text{init}} = 35$;

对于 $u = N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \bmod 16$ 的窄带物理上行共享信道格式 2、组跳未开启时窄带物理上行共享信道格式 1 以及 u 按照 4.1.5.3 中组跳开启时窄带物理上行共享信道格式 1, $w(n)$ 的取值如表 6 所示。

表 6 $w(n)$ 定义

u	$w(0), \dots, w(15)$															
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
2	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
3	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
4	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
5	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
6	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
7	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
9	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
10	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
11	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
12	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
13	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
14	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
15	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

窄带物理上行共享信道格式 1 的参考信号序列定义如式(14)所示:

$$r_u(n) = \bar{r}_u(n) \quad \dots\dots\dots (14)$$

窄带物理上行共享信道格式 2 的参考信号序列定义如式(15)所示:

$$r_u(3n+m) = \bar{w}(m)\bar{r}_u(n), m=0,1,2 \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中, $\bar{w}(m)$ 定义如表 7 所示, 序列索引按 $\left(\sum_{i=0}^7 c(8n_s+i)2^i\right) \bmod 3$ 计算, 其中 n_s 为时隙号, 二进制序列 $c(n)$ 在 4.3.1 中定义, 且 $c_{\text{init}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 。

表 7 $\bar{w}(m)$ 定义

序列索引	常规循环前缀
0	$[1 \ 1 \ 1]$
1	$[1 \ e^{j2\pi/3} \ e^{j4\pi/3}]$
2	$[1 \ e^{j4\pi/3} \ e^{j2\pi/3}]$

4.1.5.2 $N_{sc}^{RU} > 1$ 时的参考信号序列

$N_{sc}^{RU} > 1$ 时参考信号序列 $r_u(n)$ 由基础序列循环移位 α 定义,如式(16)和式(17)所示:

$$r_u(n) = e^{jan} e^{j\phi(n)\pi/4}, 0 \leq n < N_{sc}^{RU} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

$N_{sc}^{RU} = 3$ 时的 $\phi(n)$ 如表 8 所示, $N_{sc}^{RU} = 6$ 时的 $\phi(n)$ 如表 9 所示, $N_{sc}^{RU} = 12$ 时的 $\phi(n)$ 如表 10 所示。

若组跳未开启, $N_{sc}^{RU} = 3$ 时,基础序列索引 u 由高层参数 threeTone-BaseSequence 确定; $N_{sc}^{RU} = 6$ 时,基础序列索引 u 由高层参数 sixTone-BaseSequence 和 sixTone-BaseSequenceTable 确定,见表 9; $N_{sc}^{RU} = 12$ 时,基础序列索引 u 由高层参数 twelveTone-BaseSequence 确定。如果高层信号未指示,基础序列定义如式(17)所示:

$$u = \begin{cases} N_{ID}^{N_{sc}^{RU}} \bmod 12 & \text{for } N_{sc}^{RU} = 3 \\ N_{ID}^{N_{sc}^{RU}} \bmod 14 & \text{for } N_{sc}^{RU} = 6 \\ N_{ID}^{N_{sc}^{RU}} \bmod 30 & \text{for } N_{sc}^{RU} = 12 \end{cases} \dots\dots\dots (17)$$

若组跳开启,则基础序列索引 u 见 4.1.5.3。

$N_{sc}^{RU} = 3$ 和 $N_{sc}^{RU} = 6$ 情况下循环移位 α 分别由高层参数 threeTone-CyclicShift 和 sixTone-CyclicShift 确定,如表 11 所示。

$N_{sc}^{RU} = 12$ 时, $\alpha = 0$ 。

表 8 $N_{sc}^{RU} = 3$ 时 $\phi(n)$ 定义

u	$\phi(0)$	$\phi(1)$	$\phi(2)$
0	1	-3	-3
1	1	-3	-1
2	1	-3	3
3	1	-1	-1
4	1	-1	1
5	1	-1	3
6	1	1	-3
7	1	1	-1
8	1	1	3
9	1	3	-1
10	1	3	1
11	1	3	3

表 9 $N_{sc}^{RU}=6$ 时 $\phi(n)$ 定义

u	$\phi(0)$	$\phi(1)$	$\phi(2)$	$\phi(3)$	$\phi(4)$	$\phi(5)$
0	1	1	1	1	3	-3
	-3	1	-1	3	-3	1
1	1	1	3	1	-3	3
	3	1	-1	3	-3	-1
2	1	-1	-1	-1	1	-3
	-1	3	-3	-3	-1	3
3	1	-1	3	-3	-1	-1
	-1	1	-3	3	-1	1
4	1	3	1	-1	-1	3
	1	3	1	-3	3	1
5	1	-3	-3	1	3	1
	1	3	1	-1	1	3
6	-1	-1	1	-3	-3	-1
	-1	3	-1	-3	-3	-3
7	-1	-1	-1	3	-3	-1
	1	1	-3	3	-1	3
8	3	-1	1	-3	-3	3
	-1	1	1	3	-1	1
9	3	-1	3	-3	-1	1
	1	-3	1	-1	3	3
10	3	-3	3	-1	3	3
	3	1	-1	3	1	3
11	-3	1	3	1	-3	-1
	-3	1	-3	-3	-3	1
12	-3	1	-3	3	-3	-1
	-3	1	1	1	-3	-3
13	-3	3	-3	1	1	-3
	-3	-3	1	1	1	-3

表 10 $N_{sc}^{RU} = 12$ 时 $\phi(n)$ 定义

u	$\phi(0)$	$\phi(1)$	$\phi(2)$	$\phi(3)$	$\phi(4)$	$\phi(5)$	$\phi(6)$	$\phi(7)$	$\phi(8)$	$\phi(9)$	$\phi(10)$	$\phi(11)$
0	-1	1	3	-3	3	3	1	1	3	1	-3	3
1	1	1	3	3	3	-1	1	-3	-3	1	-3	3
2	1	1	-3	-3	-3	-1	-3	-3	1	-3	1	-1
3	-1	1	1	1	1	-1	-3	-3	1	-3	3	-1
4	-1	3	1	-1	1	-1	-3	-1	1	-1	1	3
5	1	-3	3	-1	-1	1	1	-1	-1	3	-3	1
6	-1	3	-3	-3	-3	3	1	-1	3	3	-3	1
7	-3	-1	-1	-1	1	-3	3	-1	1	-3	3	1
8	1	-3	3	1	-1	-1	-1	1	1	3	-1	1
9	1	-3	-1	3	3	-1	-3	1	1	1	1	1
10	-1	3	-1	1	1	-3	-3	-1	-3	-3	3	-1
11	3	1	-1	-1	3	3	-3	1	3	1	3	3
12	1	-3	1	1	-3	1	1	1	-3	-3	-3	1
13	3	3	-3	3	-3	1	1	3	-1	-3	3	3
14	-3	1	-1	-3	-1	3	1	3	3	3	-1	1
15	3	-1	1	-3	-1	-1	1	1	3	1	-1	-3
16	1	3	1	-1	1	3	3	3	1	-1	3	-1
17	-3	1	1	3	-3	3	-3	-3	3	1	3	-1
18	-3	3	1	1	-3	1	-3	-3	-1	-1	1	-3
19	-1	3	1	3	1	-1	-1	3	-3	-1	-3	-1
20	-1	-3	1	1	1	1	3	1	-1	1	-3	-1
21	-1	3	-1	1	-3	-3	-3	-3	-3	1	-1	-3
22	1	1	-3	-3	-3	-3	-1	3	-3	1	-3	3
23	1	1	-1	-3	-1	-3	1	-1	1	3	-1	1
24	1	1	3	1	3	3	-1	1	-1	-3	-3	1
25	1	-3	3	3	1	3	3	1	-3	-1	-1	3
26	1	3	-3	-3	3	-3	1	-1	-1	3	-1	-3
27	-3	-1	-3	-1	-3	3	1	-1	1	3	-3	-3
28	-1	3	-3	3	-1	3	3	-3	3	3	-1	-1
29	3	-3	-3	-1	-1	-3	-1	3	-3	3	1	-1

表 11 α 定义

$N_{sc}^{RU} = 3$		$N_{sc}^{RU} = 6$	
threeTone-CyclicShift	α	sixTone-CyclicShift	α
1	$2\pi/3$	1	$2\pi/6$
2	$4\pi/3$	2	$4\pi/6$
		3	$8\pi/6$

4.1.5.3 组跳

对窄带物理上行共享信道格式 1 的参考信号,可开启序列组跳。时隙 n_s 上序列组数目 u 由组跳模式 $f_{gh}(n_s)$ 和序列转换模式 f_{ss} 按式(18)确定:

$$u = (f_{gh}(n_s) + f_{ss}) \bmod N_{seq}^{RU} \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中:

N_{seq}^{RU} ——每个资源单元中可用的参考信号序列数目,如表 12 所示。

表 12 N_{seq}^{RU} 定义

N_{sc}^{RU}	N_{seq}^{RU}
1	16
3	12
6	14
12	30

序列组跳可由高层小区特定参数 groupHoppingEnabled 控制开启。通过高层参数 groupHoppingDisabled 可关闭特定 UE 的序列组跳,除窄带物理上行共享信道传输对应于随机接入响应授权或者基于竞争随机接入过程中部分相同传输块的重传。

组跳模式 $f_{gh}(n_s)$ 定义如式(19)所示:

$$f_{gh}(n_s) = \left(\sum_{i=0}^7 c(8n'_s + i) \cdot 2^i \right) \bmod N_{seq}^{RU} \quad \dots\dots\dots (19)$$

其中, $N_{sc}^{RU} > 1$ 时, $n'_s = n_s$; $N_{sc}^{RU} = 1$ 时, n'_s 是资源单元的时隙编号。伪随机序列 $c(i)$ 由

4.3.1 定义。 $N_{sc}^{RU} = 1$ 时,伪随机序列生成器在资源单元开始时初始化为 $c_{init} = \left\lfloor \frac{N_{ID}^{Ncell}}{N_{seq}^{RU}} \right\rfloor$, $N_{sc}^{RU} > 1$ 时,伪随

机序列生成器在每个偶数时隙初始化为 $c_{init} = \left\lfloor \frac{N_{ID}^{Ncell}}{N_{seq}^{RU}} \right\rfloor$ 。

序列转换模式 f_{ss} 定义如式(20)所示:

$$f_{ss} = (N_{ID}^{Ncell} + \Delta_{ss}) \bmod N_{seq}^{RU} \quad \dots\dots\dots (20)$$

式中, $\Delta_{ss} \in \{0, 1, \dots, 29\}$ 由高层参数 groupAssignmentnpusch 确定,如果未收到高层参数通知,则 $\Delta_{ss} = 0$ 。

4.1.5.4 物理资源映射

序列 $r(\cdot)$ 与幅度比例因子 β_{NPUSCH} 相乘后并从 $r(0)$ 开始按顺序映射至子载波上。映射过程中使用的子载波集应与 4.1.3.6 中相应的窄带物理上行共享信道传输所使用的子载波集相同。

资源元素 (k, l) 的映射先以序号 k 递增的顺序式进行,然后以 l 递增的顺序,最后是时隙号递增的顺序。时隙中的符号索引 l 如表 13 所示。

表 13 窄带物理上行共享信道解调参考信号位置

窄带物理上行共享信道格式	l 的值	
	子载波间隔 3.75 kHz	子载波间隔 15 kHz
1	4	3
2	0, 1, 2	2, 3, 4

4.1.6 SC-FDMA 基带信号生成

$N_{\text{sc}}^{\text{RU}} > 1$ 时,每个时隙中第 l 个 SC-FDMA 符号的时间连续信号 $s_l(t)$ 如式(21)所示:

$$s_l(t) = \sum_{k = \lfloor N_{\text{sc}}^{\text{UL}}/2 \rfloor}^{\lceil N_{\text{sc}}^{\text{UL}}/2 \rceil - 1} a_{k^{(-)}, l} \cdot e^{j2\pi(k+1/2)\Delta f(t - N_{\text{CP}, l}T_s)} \quad \dots\dots\dots (21)$$

式中:

$a_{k^{(-)}, l}$ ——资源单元 $(k^{(-)}, l)$ 上传输的信息;

$0 \leq t < (N_{\text{CP}, l} + N) \times T_s$;

$k^{(-)} = k + \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{UL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor, N = 2048$;

$\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 。

每个时隙中 SC-FDMA 符号从 $l=0$ 开始按照 l 的递增顺序传输,其中 $l>0$ 的 SC-FDMA 符号从一个时隙中的 $\sum_{l'=0}^{l-1} (N_{\text{CP}, l'} + N)T_s$ 时刻开始。

$N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时,上行时隙中第 l 个 SC-FDMA 符号子载波序号 k 的时间连续信号 $s_{k, l}(t)$ 定义如式(22)所示:

$$s_{k, l}(t) = a_{k^{(-)}, l} \cdot e^{j\phi_{k, l}} \cdot e^{j2\pi(k+1/2)\Delta f(t - N_{\text{CP}, l}T_s)} \\ k^{(-)} = k + \lfloor N_{\text{sc}}^{\text{UL}}/2 \rfloor \quad \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$0 \leq t < (N_{\text{CP}, l} + N)T_s$ 时, $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 和 $\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$ 下的参数如表 14 所示。

$a_{k^{(-)}, l}$ 是符号 l 的调制值,相位旋转 $\phi_{k, l}$ 定义如式(23)所示:

$$\phi_{k, l} = \rho(\tilde{l} \bmod 2) + \varphi_k(\tilde{l}) \quad \dots\dots\dots (23)$$

式中:

$$\rho = \begin{cases} \frac{\pi}{2} & \text{for BPSK} \\ \frac{\pi}{4} & \text{for QPSK} \end{cases}$$

$$\varphi_k(\tilde{l}) = \begin{cases} 0 & \tilde{l} = 0 \\ \varphi_k(\tilde{l} - 1) + 2\pi\Delta f(k + 1/2)(N + N_{\text{CP}, l})T_s & \tilde{l} > 0 \end{cases}$$

$$\tilde{l} = 0, 1, \dots, M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}} N_{\text{RU}} N_{\text{slots}}^{\text{UL}} N_{\text{symp}}^{\text{UL}} - 1$$

$l = \tilde{l} \bmod N_{\text{symp}}^{\text{UL}}$, \tilde{l} 是符号计数器,发送开始时被复位,发送过程中按照每个符号递增的顺序依次发送。

表 14 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时 SC-FDMA 参数

参数	$\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$	$\Delta f = 15 \text{ kHz}$
N	8 192	2 048
循环前缀长度 $N_{\text{CP},l}$	256	160 for $l = 0$ 144 for $l = 1, 2, \dots, 6$
k 的取值集合	$-24, -23, \dots, 23$	$-6, -5, \dots, 5$

每个时隙中 SC-FDMA 符号应从 $l = 0$ 开始按增序传输, $l > 0$ 时 SC-FDMA 符号在信道内的发送起始时刻为 $\sum_{l'=0}^{l-1} (N_{\text{CP},l'} + N) T_s$ 。当 $\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$ 时, T_{slot} 中剩余的 $2\,304 T_s$ 不传输数据并且设置为保护间隔, 上行链路仅支持正常的循环前缀。

4.1.7 调制和上变频

将每一个天线端口上的复值基带信号调制和上变频到载波频率的过程如图 6 所示, 复值基带信号先分离为实部和虚部, 然后分别调制到高频上, 最后合并滤波后输出。

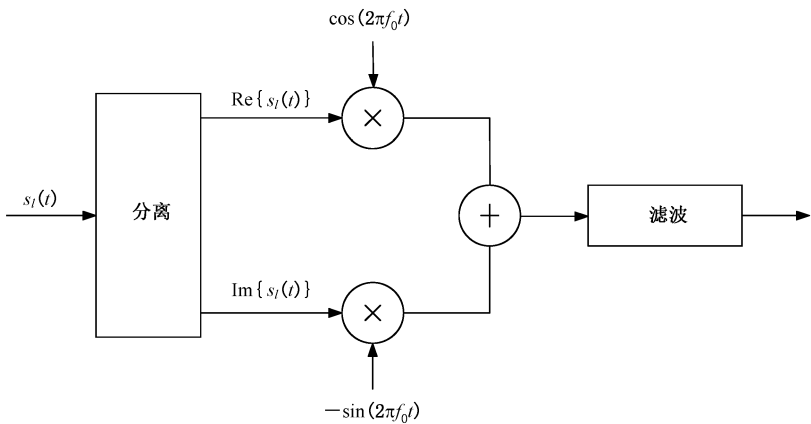


图 6 上行调制

4.2 下行物理信道

4.2.1 物理信道和物理信号

- 下行窄带物理信道对应一组携带高层信息的资源元素, 包括以下内容:
- 窄带物理下行共享信道;
 - 窄带物理广播信道;
 - 窄带物理下行控制信道。
- 下行窄带物理信号对应一组被物理层使用且不携带来自高层信息的资源元素, 包括以下内容:
- 窄带参考信号;
 - 窄带同步信号。

4.2.2 时隙结构和物理资源元素

4.2.2.1 资源格

每个时隙中天线端口的传输信号可用一个由单位资源块组成的资源格来描述。频谱间隔仅支持

$\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 。

4.2.2.2 资源元素

天线端口 p 的资源格如图 7 所示,资源格中的每个元素叫做资源元素,通过索引 (k, l) 来进行唯一标识,其中 $k = 0, \dots, N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}} - 1, l = 0, \dots, N_{\text{symbol}}^{\text{DL}} - 1$, 分别表示频域序号和时域序号。在天线端口 p 的每一个资源元素 (k, l) 对应于一个复信号 $a_{k,l}^{(p)}$ 。在不致混淆的情况下,索引 p 的标识可省略。

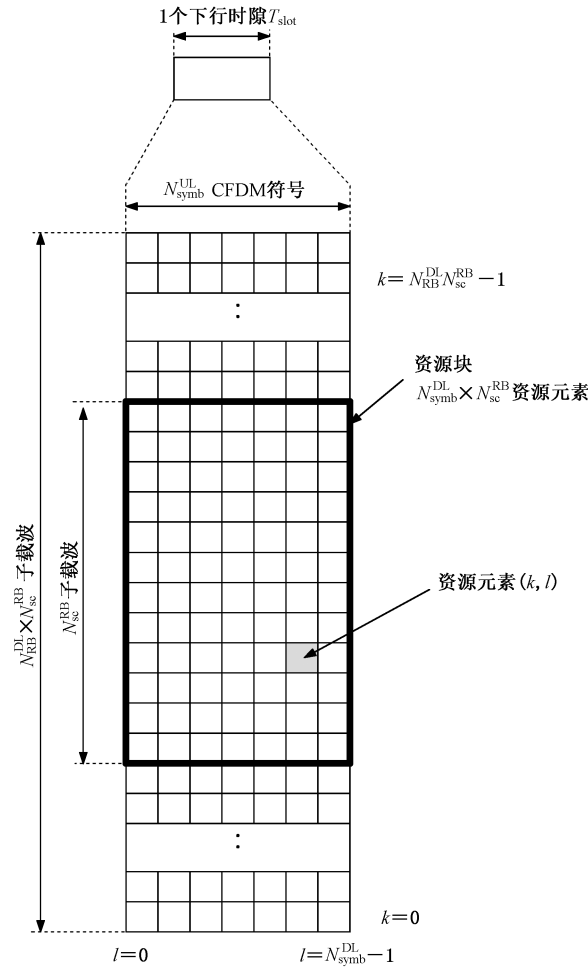


图 7 下行资源格

4.2.2.3 半双工 FDD 操作保护时间

只支持类型 B 半双工 FDD 操作。

4.2.3 窄带物理下行共享信道

4.2.3.1 加扰

对每个码字 q , 比特块 $b^{(q)}(0), \dots, b^{(q)}(M_{\text{bit}}^{(q)} - 1)$ (其中 $M_{\text{bit}}^{(q)}$ 表示窄带物理下行共享信道中码字 q 的比特数), 调制之前按式(24)加扰, 生成加扰比特块 $\tilde{b}^{(q)}(0), \dots, \tilde{b}^{(q)}(M_{\text{bit}}^{(q)} - 1)$:

$$\tilde{b}^{(q)}(i) = (b^{(q)}(i) + c^q(i)) \bmod 2 \quad \dots\dots\dots (24)$$

式中:

$c^q(i)$ ——加扰序列,见 4.3.1。

若窄带物理下行共享信道承载 BCCH,加扰序列生成器初始化如式(25)所示:

$$c_{\text{init}} = n_{\text{RNTI}} \cdot 2^{15} + (N_{\text{ID}}^{\text{cell}} + 1)((n_f \bmod 61) + 1) \quad \dots\dots\dots (25)$$

否则,加扰序列生成器初始化如式(26)所示:

$$c_{\text{init}} = n_{\text{RNTI}} \times 2^{14} + n_f \bmod 2 \times 2^{13} + \lfloor n_s/2 \rfloor \times 2^9 + N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

式中:

n_s ——码字传输的第一个时隙。

窄带物理下行共享信道重复且窄带物理下行共享信道承载 BCCH 时,加扰序列生成器应在每次重复时按照式(26)重新初始化。

窄带物理下行共享信道重复且窄带物理下行共享信道不承载 BCCH 时,加扰序列生成器在每 $\min(M_{\text{rep}}^{\text{NPDSCH}}, 4)$ 次码字传输之后按照式(26)重新初始化,其中 n_s 和 n_f 分别是第一个时隙和第一个帧。

4.2.3.2 调制

对每个码字 q ,扰码比特块 $\tilde{b}^{(q)}(0), \dots, \tilde{b}^{(q)}(M_{\text{bit}}^{(q)} - 1)$ 将按 4.3.2 进行调制,调制方式见表 15,调制后产生一个复值调制符号块 $d^{(q)}(0), \dots, d^{(q)}(M_{\text{symp}}^{(q)} - 1)$ 。

表 15 调制方案

物理信道	调制方式
窄带物理下行共享信道	QPSK

4.2.3.3 层映射和预编码

调制符号块 $d(0), \dots, d(M_{\text{symp}} - 1)$ 按式(27)进行层映射:

$$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (27)$$

$M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)}$,然后根据式(28)进行预编码:

$$y^{(p)}(i) = x^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (28)$$

式中, $y^{(p)}(i)$ 表示天线口 p 的信号,其中 $p=0, \dots, P-1$ 且小区专用参考信号的天线端口数为 $P \in \{1, 2, 4\}$, $M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 。窄带物理下行共享信道使用与窄带物理广播信道相同的天线端口集。

4.2.3.4 资源元素映射

窄带物理下行共享信道可映射至一个或多个子帧,记为 N_{SF} ,且每个窄带物理下行共享信道传输 $M_{\text{rep}}^{\text{NPDSCH}}$ 次。

对每个用于传输物理信道的天线端口,复值符号块 $y^{(p)}(0), \dots, y^{(p)}(M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1)$ 基于以下准则映射至子帧内的资源元素 (k, l) :

- 该子帧未用于传输窄带物理广播信道、NPSS 或 NSSS;且
- 资源元素 (k, l) 未用于传输 NRS;且
- 资源元素 (k, l) 未用于 CRS 传输;且
- 子帧中第一个时隙中的索引 l 满足 $l \geq l_{\text{DataStart}}$,其中 $l_{\text{DataStart}}$ 由 4.4.5.2.5 定义。

符合上述条件的天线端口 p 上的复值符号块 $y^{(p)}(0), \dots, y^{(p)}(M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1)$ 应从 $y^{(p)}(0)$ 开始映射至资源元素 (k, l) ,先按照 k 递增的顺序然后按照 l 递增的顺序进行。对于不承载 BCCH 的窄带物理下行共享信道,当映射至一个子帧后,在继续映射 $y^{(p)}(\cdot)$ 至下一个子帧之前需额外重复 $\min(M_{\text{rep}}^{\text{NPDSCH}}, 4) - 1$ 次;

$y^{(p)}(0), \dots, y^{(p)}(M_{\text{symb}}^{\text{ap}} - 1)$ 重复映射直至 $M_{\text{rep}}^{\text{NPDSCH}} N_{\text{SF}}$ 个子帧传输完成。对于携带 BCCH 的窄带物理下行共享信道, $y^{(p)}(0), \dots, y^{(p)}(M_{\text{symb}}^{\text{ap}} - 1)$ 按序映射至 N_{SF} 个子帧上并重复映射直至 $M_{\text{rep}}^{\text{NPDSCH}} N_{\text{SF}}$ 个子帧发送完成。

窄带物理下行共享信道的传输间隙可由高层配置, 当遇到传输间隙时, 窄带物理下行共享信道的传输被推迟。当由高层参数下行传输间隙门限值 dl-GapThreshold 给定的 $N_{\text{gap, threshold}}$ 和 4.4.6 中给定的 R_{max} 满足 $R_{\text{max}} < N_{\text{gap, threshold}}$ 时, 窄带物理下行共享信道传输时不存在间隙。传输间隙起始帧和子帧由式 (29) 所定:

$$(10n_f + \lfloor n_s/2 \rfloor) \bmod N_{\text{gap, period}} = 0 \quad \dots\dots\dots (29)$$

式中:
 $N_{\text{gap, period}}$ ——间隙周期, $N_{\text{gap, period}}$ 由高层参数下行传输间隙周期 dl-GapPeriodicity 给定, 以子帧数目计算的间隙长度由式 (30) 所定:

$$N_{\text{gap, duration}} = N_{\text{gap, coeff}} N_{\text{gap, period}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

式中:
 $N_{\text{gap, coeff}}$ —— $N_{\text{gap, coeff}}$ 由高层参数下行传输间隙持续系数 dl-GapDurationCoeff 给定。窄带物理下行共享信道携带 BCCH 时无传输间隙。

如果子帧 i 是非有效下行子帧, UE 不会在子帧 i 中接收窄带物理下行共享信道, 子帧 4 中携带窄带系统消息块 1 SystemInformationBlockType1-NB 的窄带物理下行共享信道除外。对于窄带物理下行共享信道传输情况, 子帧非有效下行子帧时, 窄带物理下行共享信道传输被推迟至下一个有效下行子帧。

4.2.4 窄带物理广播信道

4.2.4.1 加扰

比特块 $b(0), \dots, b(M_{\text{bit}} - 1)$ 在调制前应采用小区专有序列进行加扰, 加扰后的比特块 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{bit}} - 1)$ 由式 (31) 所定:

$$\tilde{b}(i) = (b(i) + c(i)) \bmod 2 \quad \dots\dots\dots (31)$$

式中:
 $c(i)$ ——加扰序列, 见 4.3.1。

M_{bit} 表示窄带物理广播信道上传输的比特数。正常循环前缀时, M_{bit} 为 1 600。当无线帧满足 $n_f \bmod 64 = 0$ 时, 加扰序列需要初始化为 $c_{\text{init}} = N_{\text{ID}}^{\text{Ncell}}$ 。

4.2.4.2 调制

扰码比特块 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{bit}} - 1)$ 按 4.3.2 进行调制, 产生复值调制符号块 $d(0), \dots, d(M_{\text{symb}} - 1)$, 调制方案如表 16 所示。

表 16 窄带物理广播信道调制方案

物理信道	调制方式
窄带物理广播信道	QPSK

4.2.4.3 层映射和预编码

调制符号块 $d(0), \dots, d(M_{\text{symb}} - 1), v = 1$, 按式 (32) 进行层映射:

$$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (32)$$

并且 $M_{\text{sybm}}^{\text{layer}} = M_{\text{sybm}}^{(0)}$ 。然后再根据式(33)进行预编码:

$$y^{(p)}(i) = x^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (33)$$

其中, $y^{(p)}(i)$ 表示天线口 p 的信号, 其中 $p=0, \dots, P-1$, 且小区专用参考信号的天线端口数为 $P \in \{1, 2\}$ 。UE 应假定天线端口 R_{2000} 和 R_{2001} 用于传输窄带物理广播信道。

4.2.4.4 映射至资源元素

每个天线端口的复值符号块 $y^{(p)}(0), \dots, y^{(p)}(M_{\text{sybm}}-1)$ 从满足 $n_f \bmod 64 = 0$ 的无线帧开始, 在 64 个连续无线帧中的子帧 0 中传输。正常循环前缀下 $M_{\text{sybm}} = 800$ 。定义 $y_f^{(p)}(0), \dots, y_f^{(p)}(K-1)$ 为在无线帧 $f = n_f \bmod 64$ 中子帧 0 上传输的复值符号块, $y_f^{(p)}(i)$ 如式(34)所示:

$$y_f^{(p)}(i) = \theta_f(i) y^{(p)}(K \lfloor f/8 \rfloor + i) \quad \dots\dots\dots (34)$$

式中, $i=0, \dots, 99$; 正常循环前缀下 $K=100$ 。 $\theta_f(i)$ 如式(35)所示:

$$\theta_f(i) = \begin{cases} 1, & \text{if } c_f(2i) = 0 \text{ and } c_f(2i+1) = 0 \\ -1, & \text{if } c_f(2i) = 0 \text{ and } c_f(2i+1) = 1 \\ j, & \text{if } c_f(2i) = 1 \text{ and } c_f(2i+1) = 0 \\ -j, & \text{if } c_f(2i) = 1 \text{ and } c_f(2i+1) = 1 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (35)$$

其中, $c_f(j)$ 为加扰序列, $j=0, \dots, 199$, 在 4.3.1 中定义, 且应在每个无线帧开始时初始化, 如式(36)所示。

$$c_{\text{init}} = (N_{\text{ID}}^{\text{cell}} + 1)(n_f \bmod 8 + 1)^3 \cdot 2^9 + N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \quad \dots\dots\dots (36)$$

映射至未用于参考信号传输的资源元素 (k, l) 时, 先按照 k 递增的顺序, 然后按照 l 递增的顺序进行映射, 在映射过程中子帧中的前三个 OFDM 符号不应用于映射过程。

在映射过程中, UE 应假定存在天线端口 0~3 的小区专有参考信号和天线端口 2000 和 2001 的窄带参考信号。在计算小区专有参考信号的频移 ν_{shift} 时, UE 假设 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 等于 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 。

4.2.5 窄带物理下行控制信道

4.2.5.1 下行控制信息

每个下行控制信息为小区和 RNTI 传输下行或上行调度信息。RNTI 隐式编码采用 CRC。

DCI 格式 N0 用于在上行小区中调度窄带物理上行共享信道。以下信息通过 DCI 格式 N0 传输:

- 用于格式 N0/格式 N1 区分的标记-1 比特, 其中值 0 表示格式 N0, 值 1 表示格式 N1;
- 子载波指示, 6 比特;
- 资源分配, 3 比特;
- 调度延迟, 2 比特;
- 调制和编码方案, 4 比特;
- 冗余版本, 1 比特;
- 重复次数, 3 比特;
- 新数据指示符, 1 比特;
- DCI 子帧重复次数, 2 比特;
- 使能/去使能物理层专用的调度请求发送资源, 1 比特;
- 载波指示, 2 比特, 指示载波集合中的载波序号。

DCI 格式 N1 用于一个小区中一个窄带物理下行共享信道码字的调度和用于由窄带物理下行控制信道命令发起的随机接入过程。与窄带物理下行控制信道命令对应的 DCI 由窄带物理下行控制信道承载。以下信息通过 DCI 格式 N1 传输:

- 用于格式 N0/格式 N1 区分的标记, 1 比特, 其中值 0 表示格式 N0, 值 1 表示格式 N1;
- 窄带物理下行控制信道顺序指示符, 1 比特。

如果窄带物理下行控制信道命令指示符被设置为“1”，格式 N1 用于由窄带物理下行控制信道命令发起的随机接入过程，格式 N1 CRC 被 C-RNTI 加扰，并且所有剩余字段被设置如下：

- 初始窄带物理随机接入信道重复次数，2 比特；
- 窄带物理随机接入信道的子载波指示，6 比特；
- 格式 N1 的其余比特都设为 1。

除此以外，

- 调度延迟，3 比特；
- 资源分配，3 比特；
- 调制和编码方案，4 比特；
- 重复次数，4 比特；
- 新数据指示符，1 比特；
- HARQ-ACK 资源，4 比特；
- DCI 子帧重复次数，2 比特。

当使用 RA-RNTI 对格式 N1 CRC 进行加扰时，则保留上述字段中的以下字段：

- 新数据指示符；
- HARQ-ACK 资源；
- 使能/去使能物理层专用的调度请求发送资源，1 比特；
- 载波指示，2 比特，指示载波集合中的载波序号。

如果格式 N1 的信息比特数小于格式 N0，将 0 填充到格式 N1 中，直到有效载荷大小等于格式 N0。

DCI 格式 N2 用于寻呼和直接指示，以下信息通过 DCI 格式 N2 发送：用于寻呼/直接指示区分的标记，1 比特，值 0 为直接指示，值 1 为寻呼。

如果标志位为 0：

- 直接指示信息，8 比特，提供系统信息更新和其他字段的直接指示；
- 保留的信息比特被添加，直到等于标记位为 1 时的大小。

如果标志位为 1：

- 资源分配，3 比特；
- 调制和编码方案，4 比特；
- 重复次数，4 比特；
- DCI 子帧重复次数，3 比特；
- 载波指示，2 比特，指示载波集合中的载波序号。

4.2.5.2 窄带物理下行控制信道格式

窄带物理下行控制信道承载控制信息。窄带物理控制信道使用一个或两个连续的窄带控制信道单元 NCCE，其中窄带控制信道单元对应于子帧中 6 个连续子载波，NCCE 0 占用子载波 0～5，NCCE 1 占用子载波 6～11，窄带物理下行控制信道支持多种格式，如表 17 所示。对于窄带物理下行控制信道格式 1，两个 NCCE 都属于同一个子帧。

一个或两个窄带物理下行控制信道可在同一个子帧中传输。

表 17 窄带物理下行控制信道格式

窄带物理下行控制信道格式	NCCE 的个数
0	1
1	2

4.2.5.3 加扰

每个子帧中控制信道上传输的比特块 $b^{(i)}(0), \dots, b^{(i)}(M_{\text{bit}}^{(i)} - 1)$ 可被复用, 形成比特块 $b^{(0)}(0), \dots, b^{(0)}(M_{\text{bit}}^{(0)} - 1), b^{(1)}(0), \dots, b^{(1)}(M_{\text{bit}}^{(1)} - 1), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)}(0), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)}(M_{\text{bit}}^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)} - 1)$, 其中 $M_{\text{bit}}^{(i)}$ 表示子帧中第 i 个物理下行控制信道上传输的比特数目, n_{PDCCH} 是子帧中传输的窄带物理下行控制信道总数目。

$b^{(0)}(0), \dots, b^{(0)}(M_{\text{bit}}^{(0)} - 1), b^{(1)}(0), \dots, b^{(1)}(M_{\text{bit}}^{(1)} - 1), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)}(0), \dots, b^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)}(M_{\text{bit}}^{(n_{\text{PDCCH}} - 1)} - 1)$ 在调制前将使用小区专用扰码按式(37)进行加扰, 产生扰码比特块 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{tot}} - 1)$ 。

$$\tilde{b}(i) = (b(i) + c(i)) \bmod 2 \quad \dots\dots\dots (37)$$

式中:

$c(i)$ ——定义见 4.3.1。加扰序列在子帧 k_0 以及其后每第 4 个窄带物理下行控制信道子帧处初始化如式(38)所示, 子帧 k_0 在 4.4.6 中定义。

$$c_{\text{init}} = \lfloor n_s/2 \rfloor 2^9 + N_{\text{ID}}^{\text{cell}} \quad \dots\dots\dots (38)$$

式中:

n_s ——执行加扰初始化或重新初始化的窄带物理下行控制信道子帧的第一个时隙。

4.2.5.4 调制

加扰比特块 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{tot}} - 1)$ 使用 QPSK 调制方式调制后产生复值调制符号 $d(0), \dots, d(M_{\text{symp}} - 1)$ 。调制方案如表 18 所示。

表 18 窄带物理下行控制信道调制方案

物理信道	调制方式
窄带物理下行控制信道	QPSK

4.2.5.5 层映射及预编码

调制符号块 $d(0), \dots, d(M_{\text{symp}} - 1)$, 按式(39)进行层映射:

$$x^{(0)}(i) = d^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (39)$$

并且 $M_{\text{symp}}^{\text{layer}} = M_{\text{symp}}^{(0)}$ 。然后再根据式(40)进行预编码:

$$y^{(p)}(i) = x^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (40)$$

式中:

$y^{(p)}(i)$ ——天线口 p 的信号, 使用与窄带物理广播信道相同的天线端口集。

4.2.5.6 映射至资源元素

复值符号块 $y(0), \dots, y(M_{\text{symp}} - 1)$ 基于以下准则从 $y(0)$ 开始按序映射至关联天线端口的资源元素 (k, l) :

- 资源元素 (k, l) 是分配给窄带物理下行控制信道传输的 NCCE; 且
- 资源元素 (k, l) 未用于窄带物理广播信道、NPSS 或 NSSS 传输; 且
- 资源元素 (k, l) 被 UE 假定为不用于 NRS; 且
- 与用于 PBCH、PSS、SSS 或 CRS 的资源元素不重叠。

天线端口 p 上且满足上述准则的资源元素映射, 应按照先 k 升序然后 l 升序的顺序从每个子帧的第一个时隙开始并在第二个时隙终止。

当窄带物理下行控制信道传输间隙由高层配置时, 窄带物理下行控制信道传输被推迟, 配置方式与

4.2.3.4 相同。

如果子帧 i 为非有效下行子帧, UE 不在子帧 i 中接收窄带物理下行控制信道。在窄带物理下行控制信道传输时, 并且子帧非有效下行子帧时, 窄带物理下行共享信道传输被推迟至下一个有效下行子帧。

4.2.6 窄带参考信号

4.2.6.1 概述

UE 获得 operationModeInfo 之前, UE 假定在序号 0 和 4 的子帧以及不包含 NSSS 的子帧 9 中存在窄带参考信号传输。

当 UE 接收到指示保护带部署或独立部署的高层参数 operationModeInfo 时, 执行如下操作:

- 在 UE 获得 SystemInformationBlockType1-NB 之前, UE 假定在子帧序号 0、1、3、4 和不包含 NSSS 的子帧 9 中存在窄带参考信号传输。
- 在 UE 获得 SystemInformationBlockType1-NB 之后, UE 假定在子帧 0、1、3、4、不包含 NSSS 的子帧 9 以及在有效下行子帧中存在窄带参考信号传输, 在其他下行子帧中不存在窄带参考信号传输。

当 UE 接收到指示 inband-SamePCI 或 inband-DifferentPCI 的高层参数 operationModeInfo 时, 执行如下操作:

- 在 UE 获得 SystemInformationBlockType1-NB 之前, UE 假定在子帧 0、4 和不包含 NSSS 的子帧 9 中存在窄带参考信号传输。
- 在 UE 获得 SystemInformationBlockType1-NB 之后, 假定在子帧 0、4、不包含 NSSS 的子帧 9 和有效下行子帧中存在窄带参考信号传输, 在其他下行子帧中不存在窄带参考信号传输。

存在 DL-CarrierConfigDedicated-NB 但不存在 inbandCarrierInfo 的载波上, UE 假定在子帧 0、1、3、4、9 以及在有效下行子帧中存在 NRS 传输, 在其他下行子帧中不存在 NRS 传输。

存在 DL-CarrierConfigDedicated-NB 且存在 inbandCarrierInfo 的载波上, UE 假定在子帧序号 0、4、9 和有效下行子帧中存在 NRS 传输, 在其他下行子帧中不存在 NRS 传输。

4.2.6.2 序列生成

窄带参考序列 $r_{l,n_s}(m)$ 定义如式(41)所示:

$$r_{l,n_s}(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m + 1)), m = 0, 1, \dots, 2N_{RB}^{\max, DL} - 1 \quad \dots\dots(41)$$

式中:

n_s ——一个无线帧中的时隙号;

l ——一个时隙中的 OFDM 符号序号;

$c(i)$ ——伪随机序列, 见 4.3.1。伪随机序列在每个 OFDM 符号起始处初始化, 初始值如式(42)所示。

$$c_{init} = 2^{10} \cdot (7 \cdot (n_s + 1) + l + 1) \cdot (2 \cdot N_{ID}^{cell} + 1) + 2 \cdot N_{ID}^{cell} + 1 \quad \dots\dots\dots(42)$$

4.2.6.3 资源元素映射

窄带参考信号在一个或两个天线端口上传输 $p \in \{2000, 2001\}$ 。

若高层指示 UE 可假定 N_{ID}^{cell} 等于 N_{ID}^{Ncell} , 则 UE 假定:

- 小区专有参考信号 CRS 的天线端口数与窄带参考信号相同;
- 用于小区专有参考信号的天线端口 $\{0, 1\}$ 分别相当于用于窄带参考信号的天线端口 $\{2000, 2001\}$;
- 小区专有参考信号在窄带参考信号可用的所有子帧中可用。

如果高层未指示 UE 可假定 N_{ID}^{cell} 等于 N_{ID}^{Ncell} , 则 UE 假定:

——小区专有参考信号的天线端口数从高层参数 $\text{eutra-NumCRS-Ports}$ 中获得；

——小区专有参考信号在窄带参考信号的所有可用子帧中可用，小区专有参考信号的频移由 $\nu_{\text{shift}} = N_{\text{ID}}^{\text{Ncell}} \bmod 6$ 给出。

参考信号序列 $r_{l,n_s}(m)$ 映射至复值调制符号 $a_{k,l}^{(p)}$ ，其中， $a_{k,l}^{(p)}$ 用作时隙 n_s 中天线端口 p 的参考符号，如式(43)所示：

$$a_{k,l}^{(p)} = r_{l,n_s}(m') \quad \dots\dots\dots (43)$$

式中：

$$k = 6m + (v + \nu_{\text{shift}}) \bmod 6;$$

$$l = N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 2, N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 1;$$

$$m' = m + N_{\text{RB}}^{\text{max,DL}} - 1。$$

其中， $m = 0, 1$ 。

变量 ν 和 ν_{shift} 定义不同参考信号的频域位置，其中：

$$\nu = \begin{cases} 0 & \text{if } p = 2000 \text{ and } l = N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 2 \\ 3 & \text{if } p = 2000 \text{ and } l = N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 1 \\ 3 & \text{if } p = 2001 \text{ and } l = N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 2 \\ 0 & \text{if } p = 2001 \text{ and } l = N_{\text{symb}}^{\text{DL}} - 1 \end{cases}$$

ν_{shift} ——小区专有的频移，且 $\nu_{\text{shift}} = N_{\text{ID}}^{\text{Ncell}} \bmod 6$ 。

用于在一个时隙内任何天线端口上的窄带参考信号传输的资源元素 (k, l) 不会用于在同一时隙中任何其他天线端口上的任何传输，并设置为零。

窄带参考信号不应在包含 NPSS 或 NSSS 的子帧中传输。

根据上述定义，图 8 是用于参考信号传输的资源元素。符号 R_p 用于表示天线端口 p 的参考信号传输的资源元素。

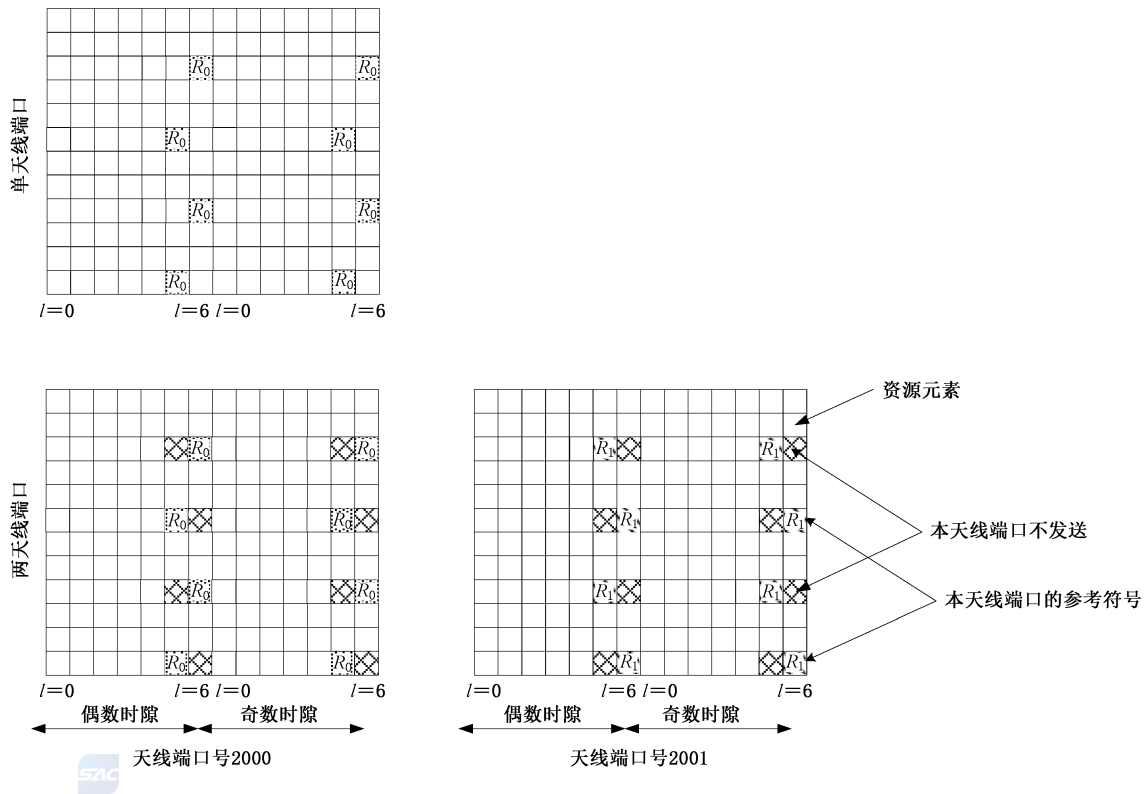


图 8 下行窄带参考信号映射(正常循环前缀)

4.2.7 同步信号

4.2.7.1 窄带主同步信号(NPSS)

4.2.7.1.1 序列生成

用于窄带主同步信号的序列 $d_l(n)$ 根据式(44)从频域 Zadoff-Chu 序列生成:

$$d_l(n) = S(l) \cdot e^{-j\frac{\pi un(n+1)}{11}}, n = 0, 1, \dots, 10 \dots\dots\dots (44)$$

其中,Zadoff-Chu 根序列索引 $u=5$,对应不同符号索引 l 的 $S(l)$ 由表 19 给出。

表 19 $S(l)$ 定义

循环前缀长度	S(3)	S(4)	S(5)	S(6)	S(7)	S(8)	S(9)	S(10)	S(11)	S(12)	S(13)
正常	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1

4.2.7.1.2 资源元素映射

同一子帧内窄带主同步信号的所有符号使用相同的天线端口。

UE 假定窄带主同步信号不是在与任何下行参考信号相同的天线端口上发送。UE 假定给定子帧中的窄带主同步信号的传输与任何其他子帧中的窄带主同步信号不使用相同的单个或多个天线端口。

序列 $d_l(n)$ 首先按照索引 $k=0,1,\dots,N_{sc}^{RB}-2$ 顺序,然后按照 $l=3,4,\dots,2N_{symb}^{DL}-1$ 的顺序依次映射到每个无线帧的子帧 5 中的资源元素 (k,l) 上。对于与小区专有参考信号的资源元素重叠的资源元素 (k,l) ,相应的序列元素 $d(n)$ 不用于 NPSS,但会在映射过程中被计数。

4.2.7.2 窄带辅同步信号(NSSS)

4.2.7.2.1 序列生成

窄带辅同步信号用于指示 504 个唯一的物理层小区标识。

用于窄带辅同步信号的序列 $d(n)$ 根据式(45)从频域 Zadoff-Chu 序列生成:

$$d(n) = b_q(m) e^{-j2\pi\theta_f n} e^{-j\frac{\pi un'(n'+1)}{131}} \dots\dots\dots (45)$$

式中:

$n=0,1,\dots,131;$

$n'=n \bmod 131;$

$m=n \bmod 128;$

$u=N_{ID}^{Ncell} \bmod 126+3;$

$q=\left\lfloor \frac{N_{ID}^{Ncell}}{126} \right\rfloor;$

θ_f ——帧号的循环移位,取值由式(46)给出:

$$\theta_f = \frac{33}{132}(n_f/2) \bmod 4 \dots\dots\dots (46)$$

二进制序列由表 20 给出。

erConfigDedicated-NB 并且不存在高层参数 inbandCarrierInfo 的载波,或者对于存在高层参数 CarrierConfigDedicated-NB 和 inbandCarrierInfo 且高层未指示 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 等于 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 载波,天线端口 p 中下行链路时隙中的 OFDM 符号 l 上的时间连续信号 $s_l^{(p)}(t)$ 定义如式(47)所示:

$$s_l^{(p)}(t) = \sum_{k=-\lfloor N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor}^{\lceil N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rceil-1} a_{k^{(-)},l}^{(p)} \cdot e^{j2\pi(k+1/2)\Delta f(t-N_{\text{CP},l}T_s)} \quad \dots\dots\dots (47)$$

式中:

$$0 \leq t < (N_{\text{CP},l} + N) \times T_s;$$

$$k^{(-)} = k + \lfloor N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor;$$

$$N = 2048;$$

$$\Delta f = 15 \text{ kHz};$$

$a_{k,l}^{(p)}$ 是天线端口 p 上的资源元素 (k,l) 中的内容。

否则,第 l' 个 OFDM 符号中天线端口 p 上的时间连续信号 $s_{l'}^{(p)}(t)$ 定义如式(48)所示,其中 $l' = l + N_{\text{sym}}^{\text{DL}}(n_s \bmod 4) \in \{0, \dots, 27\}$ 是从最后一个偶数子帧的为起点的 OFDM 符号索引。

$$\begin{aligned} s_{l'}^{(p)}(t) = & \sum_{k=-\lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor}^{-1} e^{j\theta_{k^{(-)},l'}^{(p)}} a_{k^{(-)},l'}^{(p)} \cdot e^{j2\pi k \Delta f(t-N_{\text{CP},l'} \bmod N_{\text{sym}}^{\text{DL}} T_s)} \\ & + \sum_{k=1}^{\lceil N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rceil} e^{j\theta_{k^{(+)},l'}^{(p)}} a_{k^{(+)},l'}^{(p)} \cdot e^{j2\pi k \Delta f(t-N_{\text{CP},l'} \bmod N_{\text{sym}}^{\text{DL}} T_s)} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (48)$$

式中,对于 $0 \leq t < (N_{\text{CP},l} + N) \times T_s$,有 $k^{(-)} = k + \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor$, $k^{(+)} = k + \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}}/2 \rfloor - 1$ 。

如果资源元素 (k,l') 用于除窄带定位参考信号之外的信号发送,则 $\theta_{k,l'} = j2\pi f_{\text{NB-IoT}} T_s (l'N + \sum_{i=0}^{l'} N_{\text{CP},i \bmod 7})$, 否则其为 0。 $f_{\text{NB-IoT}}$ 是 PRB 的中心频率减去 LTE 信号的中心频率得到的频率位置。

下行链路只支持正常的循环前缀。

4.2.9 调制和上变频

每个天线端口上的复值 SC-FDMA 基带信号调制和上变频至载波频率的过程如图 9 所示。

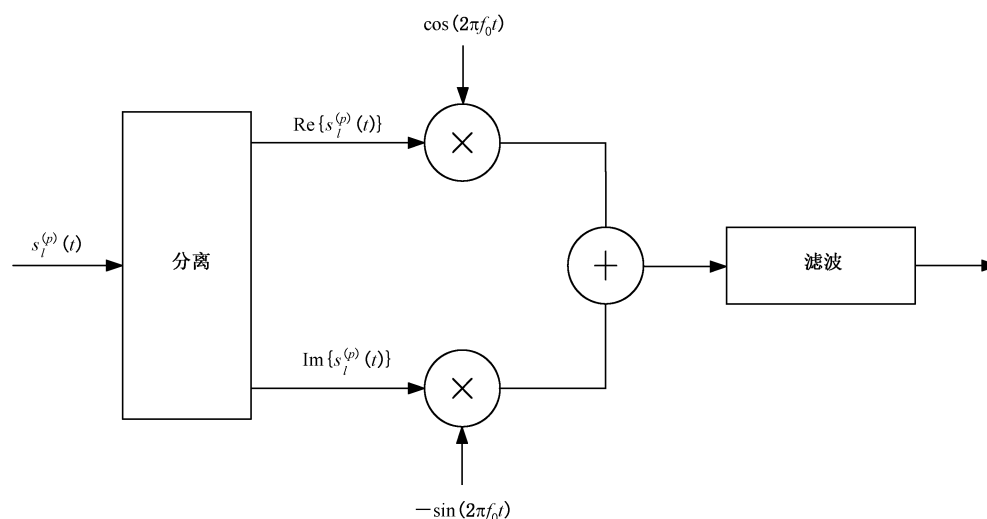


图 9 下行调制

4.3 物理层通用处理

4.3.1 伪随机序列产生

伪随机序列由长度为 31 的 Gold 序列产生。长度 M_{PN} 的伪随机序列 $c(n) (n=0,1,\dots,M_{\text{PN}}-1)$ 定义如式(49)所示:

$$\begin{aligned} c(n) &= (x_1(n+N_C) + x_2(n+N_C)) \bmod 2 \quad \dots\dots\dots (49) \\ x_1(n+31) &= (x_1(n+3) + x_1(n)) \bmod 2 \\ x_2(n+31) &= (x_2(n+3) + x_2(n+2) + x_2(n+1) + x_2(n)) \bmod 2 \end{aligned}$$

式中, $N_C=1\ 600$, 第一个 m 序列初始化为 $x_1(0)=1, x_1(n)=0, n=1,2,\dots,30$ 。第二个 m 序列以式(50)进行初始化, 其数值取决于序列的具体应用。

$$c_{\text{init}} = \sum_{i=0}^{30} x_2(i) \cdot 2^i \quad \dots\dots\dots (50)$$

4.3.2 调制映射

4.3.2.1 BPSK

调制映射采用二进制数 0 和 1 作为输入, 产生复值调制符号 $x=I+jQ$ 作为输出。

BPSK 调制时, 单比特 $b(i)$ 按表 22 映射为复值调制符号 $x=I+jQ$ 。

表 22 BPSK 调制映射

$b(i)$	I	Q
0	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
1	$-1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$

4.3.2.2 QPSK

QPSK 调制时, 两比特对 $b(i), b(i+1)$ 按表 23 映射为复值调制符号 $x=I+jQ$ 。

表 23 QPSK 调制映射

$b(i), b(i+1)$	I	Q
00	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
01	$1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$
10	$-1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
11	$-1/\sqrt{2}$	$-1/\sqrt{2}$

4.4 物理层过程

4.4.1 同步过程

4.4.1.1 小区搜索

小区搜索指 UE 获取与小区时间和频率同步并检测窄带物理层小区 ID 的过程。

对于一个小区,如果高层参数 operationModeInfo 指示 inband-SamePCI,或 samePCI-Indicator 指示 samePCI,则 UE 可以假定物理层小区 ID 与小区的窄带物理层小区 ID 相同。

在下行链路中传输窄带主同步信号和窄带辅同步信号促进小区搜索。

UE 假定天线端口 2000~2001 和服务小区的窄带主/辅同步信号的天线端口是准共位置的。

4.4.1.2 定时同步

UE 基于接收到的定时提前命令用于调整窄带物理上行共享信道的上行链路发送定时。

定时提前命令指示相对于当前上行链路定时的上行链路定时的变化,以 $16T_s$ 的倍数为调整单位。

随机接入响应时,11 位定时提前命令 T_A ,按 $T_A=0,1,2,\dots,1282$ 的索引值来指示 N_{TA} 值,其中时间对齐的量值根据 $N_{TA}=T_A \times 16$ 确定。

其他情况下,6 位定时提前命令 T_A 按 $T_A=0,1,2,\dots,63$ 的索引值来指示当前 N_{TA} 值($N_{TA,old}$)调整到新 N_{TA} 值 $N_{TA,new}$,其中 $N_{TA,new}=N_{TA,old}+(T_A-31) \times 16$ 。其中,通过正或负的 N_{TA} 值的调整分别指示上行链路发送定时提前或延迟。

当定时提前命令的接收在下行子帧 n 结束时,相应的上行链路传输定时的调整应当从第 $n+12$ 个 DL 子帧结束之后的第一个可用的上行时隙开始,并且第一个可用的上行链路时隙是窄带物理上行共享信道传输的第一个时隙。当上行时隙 n 和上行时隙 $n+1$ 中的 UE 的上行窄带物理上行共享信道传输由于定时调整而重叠时,UE 应当完成上行时隙 n 的传输,而不传输上行链路时隙 $n+1$ 中的重叠部分。

如果接收的下行链路定时改变且未被补偿,或者仅在未收到定时提前命令时被上行链路定时调整部分地补偿,则 UE 相应地改变 N_{TA} 。

4.4.2 功率控制

4.4.2.1 上行功率控制

上行功率控制调整不同物理信道的发送功率值。

用于窄带物理上行共享信道传输的 UE 发射功率(单位为 dBm)的定义如下。

对于上行时隙 i 中服务小区 c 的窄带物理上行共享信道传输,UE 发射功率 $P_{NPUSCH,c}(i)$ 由式(51)和式(52)给出。

如果分配的窄带物理上行共享信道 RU 重复次数大于 2, $P_{NPUSCH,c}(i)$ 如式(51)所示:

$$P_{NPUSCH,c}(i) = P_{CMAX,c}(i) \quad \dots\dots\dots (51)$$

除此以外,如式(52)所示:

$$P_{NPUSCH,c}(i) = \min \left\{ P_{CMAX,c}(i), 10 \log_{10} (M_{NPUSCH,c}(i)) + P_{O_NPUSCH,c}(j) + \alpha_c(j) \cdot PL_c \right\} \quad \dots\dots (52)$$

式中:

$P_{CMAX,c}(i)$ ——服务小区 c 的 UL 时隙 i 中定义的配置 UE 发射功率;

$M_{NPUSCH,c}(i)$ ——对于 3.75 kHz 子载波间隔是 $\{1/4\}$, 对于 15 kHz 子载波间隔是 $\{1,3,6,12\}$;

$P_{O_NPUSCH,c}(j)$ ——高层提供针对服务小区 c 的分量 $P_{O_NOMINAL_NPUSCH,c}(j)$ 和 $P_{O_UE_NPUSCH,c}(j)$ ($j=1$) 之和组成的参数,其中 $c(j \in \{1,2\})$ 。对于对应于动态调度授权的窄带物理上行共享信道(重新)传输,则 $j=1$,对于与随机接入响应授权对应的窄带物理上行共享信道(重新)传输,则 $j=2$ 。 $P_{O_UE_NPUSCH,c}(2)=0$ 并且 $P_{O_NOMINAL_NPUSCH,c}(2)=P_{O_PRE} + \Delta_{PREAMBLE_Msg3}$, 其中参数 preambleInitialReceivedTargetPower (P_{O_PRE}) 和 $\Delta_{PREAMBLE_Msg3}$ 是高层向服务小区 c 发送的信号。

对于 $j=1$,对于窄带物理上行共享信道格式 2, $\alpha_c(j)=1$;对于窄带物理上行共享信道格式 1, $\alpha_c(j)$

由高层为服务小区 c 提供。对于 $j=2, \alpha_c(j)=1$ 。

PL_c 是在 UE 中针对服务小区 c 以 dB 为单位计算的下行链路路径损耗估计, 并且 $PL_c = \text{nrs-Power} + \text{nrs-PowerOffsetNonAnchor} - \text{NRSRP}$, 其中 nrs-Power 由高层提供, 若 $\text{nrs-powerOffsetNonAnchor}$ 不是由高层提供的, 则设置为零。

如果 UE 在服务小区 c 的 UL 时隙 i 中发送窄带物理上行共享信道, 则计算功率余量如式 (53) 所示, 单位为 dB。

$$PH_c(i) = P_{\text{CMAX},c}(i) - \{P_{\text{O_NPUSCH},c}(1) + \alpha_c(1) \cdot PL_c\} \quad \dots\dots\dots (53)$$

功率余量应取标准中定义的 $[PH1, PH2, PH3, PH4]$ dB 中最接近的值, 并由物理层传送到更高层。

4.4.2.2 下行功率分配

基站应确定每个资源元素的下行链路发射能量。UE 可以假设在下行链路系统带宽上 NRS EPRE 是恒定的, 并且在包含 NRS 的所有子帧上是恒定的, 直到接收到不同的 NRS 功率信息。

下行链路 NRS EPRE 可以从由高层参数 nrs-Power 和 $\text{nrs-PowerOffsetNonAnchor}$ 的和推导出下行链路窄带参考信号发射功率。且若高层未提供参数值, 则 $\text{nrs-powerOffsetNonAnchor}$ 为零。下行链路窄带参考信号发射功率为在工作系统带宽内承载窄带参考信号的所有资源元素功率贡献的线性平均值, 以瓦(W)为单位。

在具有单个 NRS 天线端口的小区 and 两个 -3 dB 的 NRS 天线端口的小区中, UE 可假设窄带物理下行共享信道 RE 中窄带物理下行共享信道 EPRE 与 NRS EPRE 的比率为 0 dB, 此假定不适用于具有零 EPRE 的窄带物理下行共享信道 RE。

在具有单个 NRS 天线端口的小区 and 两个 -3 dB 的 NRS 天线端口的小区中, UE 可假设窄带物理广播信道 RE 中窄带物理广播信道 EPRE 与 NRS EPRE 的比率为 0 dB, 此假定不适用于具有零 EPRE 的窄带物理广播信道 RE。

在具有单个 NRS 天线端口的小区 and 两个 -3 dB 的 NRS 天线端口的小区中, UE 可假定窄带物理下行控制信道 RE 中窄带物理下行控制信道 EPRE 与 NRS EPRE 的比率为 0 dB, 此假定不适用于具有零 EPRE 的窄带物理下行控制信道 RE。

如果高层参数 operationModeInfo 为小区指示“00”, 且参数 $\text{nrs-CRS-PowerOffset}$ 由高层提供, 则 NRS EPRE 与 CRS EPRE 的比率由参数 $\text{nrs-CRS-PowerOffset}$ 给出, 并且如果参数 $\text{nrs-CRS-PowerOffset}$ 未由高层提供, 则 NRS EPRE 到 CRS EPRE 的比率可假定为 0 dB。如果高层参数 $\text{nrs-CRS-PowerOffset}$ 的值为非整数值, 则 nrs-Power 比指示值高 0.23 dBm。

4.4.3 随机接入过程

4.4.3.1 概述

开始非同步物理随机接入过程之前, 物理层应从高层接收窄带随机接入信道参数(窄带物理随机接入信道配置)。

4.4.3.2 物理非同步随机接入过程

物理层随机接入过程包括窄带随机接入前导码和窄带随机接入响应的传输, 其余消息由高层调度在共享数据信道上发送, 不属于物理层随机接入过程。窄带随机接入前导码传输占用的随机接入信道包括多组连续的符号, 且每组连续符号占用一个子载波。

随机接入过程包括以下步骤:

——由高层的窄带前导码传输请求触发;

- 目标窄带前导码接收功率、相应的 RA-RNTI 和窄带物理随机接入信道资源由高层在窄带前导码传输请求中给出；
- 对于最低配置的重复级别，窄带前导码发送功率 P 窄带物理随机接入信道被确定为 $P_{\text{NPRACH}} = \min\{P_{\text{CMAX},c}(i), \text{NARROWBAND_PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER} + PL_c\}$ (单位为 dBm)，其中， $P_{\text{CMAX},c}(i)$ 为服务小区 c 子帧 i 中用于传输配置的 UE 发射功率， PL_c 是 UE 在服务小区 c 中计算的下行链路路径损耗估计。对于除最低配置重复级别以外的重复级别， P_{NPRACH} 设置为 $P_{\text{CMAX},c}(i)$ ；
- 窄带前导码以传输功率 P_{NPRACH} 应在指示的窄带物理随机接入信道资源上传输。窄带前导码按高层指定，根据相关联的窄带物理随机接入信道重复级别，按窄带物理随机接入信道重复的次数发送。

在高层控制的窗口期间内，可尝试检测具有由 RA-RNTI 进行 DCI 加扰的窄带物理下行控制信道。如果检测到，则相应下行 SCH 传输块被传递到高层。高层解析传输块，并向物理层指示长度为 N_r -bit 的上行授权。

4.4.3.3 定时

- 对于随机接入过程，UE 在随机接入前导码传输之后的上行链路传输定时按照如下过程设定：
- a) 如果检测到具有关联 RA-RNTI 的窄带物理下行控制信道，并且在子帧 n 结尾处相应下行数据信道传输块包含对所发送前导序列的响应，则 UE 应根据响应中信息发送上行数据信道的传输块。
 - b) 如果接收到随机接入响应并且在子帧 n 结尾处相应下行数据信道传输块包含对所发送前导序列的响应，则如果高层请求，UE 应准备在不迟于子帧 n 结束后 12 ms 开始的上行时隙中发送新前导序列。
 - c) 如果子帧 n 中未接收到随机接入响应，其中子帧 n 是随机接入响应窗口的最后一个子帧，则如果高层请求，UE 应准备在不迟于子帧 n 结束后 12 ms 开始的上行时隙中发送新前导序列。

在子帧 n 结尾的“PDCCH order”发起随机接入过程时，如果高层请求，UE 将在子帧 $n + k_2$ ($k_2 \geq 8$) 结束后的第一个子帧开始传输随机接入前导码，其中第一个子帧为窄带物理随机接入信道资源可用的第一个子帧。“PDCCH order”通过 DCI 格式 N1 向 UE 做如下指示：

- 为窄带物理随机接入信道分配子载波， $n_{\text{sc}} = I_{\text{sc}}$ ，其中 I_{sc} 是对应 DCI 中子载波指示字段， $I_{\text{sc}} = 48, 49, \dots, 63$ 被保留；
- 窄带物理随机接入信道的重复号 N_{Rep} 由对应 DCI 中重复号字段 I_{Rep} 确定，见表 24，其中 R_1 、 R_2 (如果有) 和 R_3 (如果有) 由高层参数 numRepetitionsPerPreambleAttempt 分别为每个窄带物理随机接入信道资源给出， $R_1 < R_2 < R_3$ 。

表 24 按“PDCCH order”给出的窄带物理随机接入信道的重复号 (N_{Rep})

I_{Rep}	N_{Rep}
0	R_1
1	R_2
2	R_3
3	保留

4.4.3.4 窄带随机接入响应授权

高层向物理层指示长度为 N_r -bit 的上行授权，在物理层指对应窄带随机接入响应授权。



Nr-bit=15,从 MSB 开始到 LSB 结束的 15 位内容如下:

- 子载波间隔 $\Delta f=0$ 表示为 3.75 kHz, $\Delta f=1$ 表示为 15 kHz, 长度为 1 比特;
- 子载波指示字段, 长度为 6 比特;
- 调度延迟字段 I_{Delay} , 对于 $I_{\text{Delay}}=0, k_0=12$, 其中下行子帧 n 是发送与窄带随机接入响应授权相关联窄带物理下行共享信道的最后一个子帧, 长度为 2 比特;
- Msg3 重复次数 N_{Rep} , 长度为 3 比特;
- 表 25 给出的 MCS 索引, 分别指示 TBS、调制和用于 Msg3 的 RU 数量, 长度为 3 比特;
- 载波指示, 指示载波集合中的载波序号, 长度为 2 比特。

Msg3 首次传输的冗余版本为 0。

表 25 Msg3 窄带物理上行共享信道的 MCS 索引

MCS 索引 I_{MCS}	调制 $\Delta f=3.75 \text{ kHz or } \Delta f=15 \text{ kHz and } I_{\text{sc}}=0,1,\dots,11$	调制 $\Delta f=15 \text{ kHz and } I_{\text{sc}}>11$	RU 数目 N_{RU}	TBS
'000'	pi/2 BPSK	QPSK	4	88 比特
'001'	pi/4 QPSK	QPSK	3	88 比特
'010'	pi/4 QPSK	QPSK	1	88 比特
'011'	保留	保留	保留	保留
'100'	保留	保留	保留	保留
'101'	保留	保留	保留	保留
'110'	保留	保留	保留	保留
'111'	保留	保留	保留	保留

4.4.4 窄带物理上行共享信道相关过程

4.4.4.1 格式 1 窄带物理上行链路共享信道的发送过程

给定服务小区, 当 UE 检测到具有 DCI 格式 N0 的窄带物理下行控制信道在有效下行子帧 n 时结束传输, UE 将在 $n+k_0$ 下行子帧之后使用窄带物理上行共享信道格式 1 在 N 个连续上行时隙 n_i ($i=0,1,\dots,N-1$) 上发送窄带物理下行控制信道信息对应的窄带物理上行共享信道, 相关参数设置如下:

- 子帧 n 是窄带物理下行控制信道传输的最后一个子帧, 由窄带物理下行控制信道传输的起始子帧和相应 DCI 中的 DCI 子帧重复次数字段确定;
- $N=N_{\text{Rep}}N_{\text{RU}}N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$, 其中 N_{Rep} 由相应 DCI 中的重复次数字段确定, $N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ 是相应 DCI 中对应的资源单元中上行时隙数;
- n_0 是从子帧 $n+k_0$ 之后开始的第一个上行时隙;
- k_0 根据 DCI 中调度延迟字段 I_{Delay} 确定, 见表 26。

表 26 DCI 格式 N0 的 k_0

I_{Delay}	k_0
0	8
1	16
2	32
3	64

如果高层配置 UE 为由 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道上进行解码,则 UE 根据表 27 中组合解码窄带物理下行控制信道并发送对应的窄带物理上行共享信道,C-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理上行共享信道以及同一个传输块重传的窄带物理上行共享信道的加扰进行初始化。

表 27 C-RNTI 配置的窄带物理下行控制信道和窄带物理上行共享信道

DCI 格式	搜索空间
N0	C-RNTI 扰码的用户专有搜索空间

如果高层配置 UE 为接受“PDCCH orders”触发的随机接入过程,则 UE 将根据表 28 中组合解码窄带物理下行控制信道。

表 28 窄带物理下行控制信道配置为“PDCCH orders”以启动随机接入过程

DCI 格式	搜索空间
N1	C-RNTI 扰码的用户专有搜索空间

如果高层配置 UE 为由临时 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 将根据表 29 中组合解码窄带物理下行控制信道并发送对应窄带物理上行共享信道,临时 C-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理上行共享信道的加扰进行初始化。

如果高层设置由临时 C-RNTI 为对应于窄带随机接入响应授权的窄带物理上行共享信道加扰进行初始化,对于相同传输块的任何窄带物理上行共享信道重传均由临时 C-RNTI 进行。除此之外,对应于窄带随机接入响应授权的窄带物理上行共享信道的加扰初始化以及对于相同传输块的任何窄带物理上行共享信道重传都由 C-RNTI 进行。

如果高层配置 UE 在随机接入过程中对用 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,UE 将根据表 29 中定义的组合解码窄带物理下行控制信道,并发送相应的窄带物理上行共享信道。窄带物理下行控制信道对应的窄带物理上行共享信道的加扰初始化由 C-RNTI 进行。

表 29 窄带物理下行控制信道配置为“PDCCH orders”以启动随机接入过程

DCI 格式	搜索空间
N0	类型 2 公共搜索空间

用于窄带物理上行共享信道传输的资源分配信息通过上行 DCI 格式 N0 指示给调度 UE,具体内容如下:

- 根据 DCI 中子载波指示字段确定资源单元中连续分配的子载波 n_{sc} ;
- 根据表 30 由相应 DCI 中资源分配字段确定资源单元的数量 N_{RU} ;
- 根据表 31 由相应 DCI 中重复次数字段确定重复次数 N_{Rep} 。

窄带物理上行共享信道传输的子载波间隔 Δf 由窄带随机接入应答授权中的上行子载波间隔字段确定。

对于子载波间隔 $\Delta f = 3.75$ kHz 的窄带物理上行共享信道传输, $n_{sc} = I_{sc}$,其中 I_{sc} 是 DCI 中子载波指示字段,但是 $I_{sc} = 48, 49, \dots, 63$ 被预留。

对于子载波间隔 $\Delta f = 15$ kHz 的窄带物理上行共享信道传输,DCI 中子载波指示字段 I_{sc} 根据表 32 确定连续分配子载波集合 n_{sc} 。

表 30 窄带物理上行共享信道的资源单元数 N_{RU}

I_{RU}	N_{RU}
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	8
7	10

表 31 窄带物理上行共享信道的重复数 N_{Rep}

I_{Rep}	N_{Rep}
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128

表 32 $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 时为窄带物理上行共享信道分配的子载波

子载波指示字段 I_{sc}	分配的子载波集 n_{sc}
0~11	I_{sc}
12~15	$3(I_{\text{sc}} - 12) + \{0, 1, 2\}$
16~17	$6(I_{\text{sc}} - 16) + \{0, 1, 2, 3, 4, 5\}$
18	$\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$
19~63	预留

为确定窄带物理上行共享信道的调制阶数、冗余版本和传输块长度, UE 应确定以下参数:

- 读取 DCI 中调制和编码方案字段 I_{MCS} ; 且
- 读取 DCI 中冗余版本字段 $r\nu_{\text{DCI}}$; 且
- 读取 DCI 中资源分配字段 I_{RU} ; 且
- 计算分配的子载波总数 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}}$ 、资源单元数 N_{RU} 和重复数 N_{Rep} 。

当 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} > 1$ 时, UE 应使用调制阶数 $Q_{\text{m}} = 2$ 。当 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时, UE 应使用 I_{MCS} 和表 33 确定用于窄带物理上行共享信道的调制阶数。

表 33 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时窄带物理上行共享信道的调制和 TBS 索引

MCS 索引 I_{MCS}	调制阶 Q_{m}	TBS 索引 I_{TBS}
0	1	0
1	1	2
2	2	1
3	2	3
4	2	4
5	2	5
6	2	6
7	2	7
8	2	8
9	2	9
10	2	10

窄带物理上行共享信道在 N 个连续上行时隙 n_i 中发送, $i=0,1,\cdots,N-1$ 。在 B 个连续上行时隙 n_i 中的第 j 个块中窄带物理上行共享信道传输的冗余版本 $r\nu_{\text{idx}}(j)$ 由式(54)确定。

$$r\nu_{\text{idx}}(j) = 2 \times \text{mod} (r\nu_{\text{DCI}} + j, 2) \cdots \cdots \cdots (54)$$

对于上述 B 个连续上行时隙 n_i 中的第 j 个块, 有 $i = jB + b, b=0,1,\cdots,B-1, j=0,1,\cdots,\frac{N_{\text{Rep}}}{L}-1$ 。其中 $B = LN_{\text{RU}}N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$, 当 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时 $L=1$, 否则 $L = \min(4, \lceil N_{\text{Rep}}/2 \rceil)$ 。

包含 $r\nu_{\text{idx}}(j)$ 的窄带物理上行共享信道部分码字被映射至分配 N_{RU} 个资源单元时隙 $\left\lfloor \frac{b}{L} \right\rfloor$, 在 $\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$ 时, 在上行时隙 $n_i, i = jB + L \left\lfloor \frac{b}{L} \right\rfloor + l, l=0,1,\cdots,L-1$ 被发送, 而在 $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 时, $i = jB + 2L \left\lfloor \frac{b}{2L} \right\rfloor + 2l + \text{mod}(\left\lfloor \frac{b}{L} \right\rfloor, 2), l=0,1,\cdots,L-1$ 。

UE 应根据 $I_{\text{TBS}}, I_{\text{RU}}$ 和表 34 确定用于窄带物理上行共享信道的 TBS。当 $N_{\text{sc}}^{\text{RU}} = 1$ 时, I_{TBS} 根据表 33 确定, 否则 $I_{\text{TBS}} = I_{\text{MCS}}$ 。

表 34 窄带物理上行共享信道传输块大小表

I_{TBS}	I_{RU}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	872
6	88	176	256	392	504	600	808	1 000

表 34 (续)

I_{TBS}	I_{RU}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
7	104	224	328	472	584	712	1 000	
8	120	256	392	536	680	808		
9	136	296	456	616	776	936		
10	144	328	504	680	872	1 000		
11	176	376	584	776	1 000			
12	208	440	680	1 000				

在窄带物理下行控制信道上发送 NDI,上面确定的 RV 和 TBS 应被传送至高层。

4.4.4.2 窄带物理上行共享信道的重传过程

UE 根据 DCI 中 HARQ 信息判定是否进行窄带物理上行共享信道重传。

4.4.5 窄带物理下行共享信道相关过程

4.4.5.1 概述

当子帧不包含 NPSS、NSSS、窄带物理广播信道和 NB-SIB1 传输,且 UE 获得窄带系统消息 SystemInformationBlockType1-NB 之后,子帧被配置为有效下行子帧。

4.4.5.2 窄带物理下行共享信道的接收过程

4.4.5.2.1 主要过程

当 UE 检测到使用 DCI 格式 N1/N2 的窄带物理下行控制信道且窄带物理下行控制信道传输在子帧 n 结束时,从下行子帧 $n+5$ 开始,UE 根据窄带物理下行控制信道信息在 N 个连续有效下行子帧 n_i ($i=0,1,\dots,N-1$)中解码对应的窄带物理下行共享信道传输,相关参数定义如下:

- 子帧 n 是发送窄带物理下行控制信道的最后一个子帧,由窄带物理下行控制信道传输的起始子帧和对应 DCI 中子帧重复次数字段确定;
- 子帧 n_i ($i=0,1,\dots,N-1$)是 N 个连续不包含 SI 信息的有效下行子帧,其中 $n_0 < n_1 < \dots, n_{N-1}$;
- $N = N_{\text{Rep}} N_{\text{SF}}$,其中 N_{Rep} 由相应 DCI 中重复次数字段确定(见 4.4.5.2.4), N_{SF} 由相应 DCI 中资源分配字段确定(见 4.4.5.2.4);
- k_0 是从下行子帧 $n+5$ 开始直到 n_0 为止的有效子帧数量。对于 DCI 格式 N1, k_0 根据表 35 的调度延迟字段 I_{Delay} 确定,对于 DCI 格式 N2, k_0 为 0。对于 DCI 格式 N1, R_{max} 的值见 4.4.6。

表 35 DCI 格式 N1 的 k_0

I_{Delay}	k_0	
	$R_{\text{max}} < 128$	$R_{\text{max}} \geq 128$
0	0	0
1	4	16

表 35 (续)

I_{Delay}	k_0	
	$R_{\text{max}} < 128$	$R_{\text{max}} \geq 128$
2	8	32
3	12	64
4	16	128
5	32	256
6	64	512
7	128	1 024

UE 禁止在窄带物理上行共享信道传输结束之后的 3 个下行子帧中进行数据传输。

如果高层配置 UE 对由 P-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 根据表 36 中任何组合解码窄带物理下行控制信道和对应的窄带物理下行共享信道,P-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

表 36 P-RNTI 配置的窄带物理下行控制信道和窄带物理下行共享信道

DCI 格式	搜索空间	对应窄带物理下行控制信道的窄带物理下行共享信道传输方案
DCI 格式 N2	Type-1 公有	若窄带物理广播信道天线数目为 1,则使用端口 2000(见 4.4.5.2.2),否则发射分集(见 4.4.5.2.3)

如果高层配置 UE 对由 RA-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 根据表 37 中任何组合解码窄带物理下行控制信道和对应的窄带物理下行共享信道,RA-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

表 37 RA-RNTI 配置的窄带物理下行控制信道和窄带物理下行共享信道

DCI 格式	搜索空间	对应窄带物理下行控制信道的窄带物理下行共享信道传输方案
DCI 格式 N1	Type-2 公有	若窄带物理广播信道天线数目为 1,则使用端口 2000(见 4.4.5.2.2),否则发射分集(见 4.4.5.2.3)

如果高层配置 UE 在非随机接入过程中对由 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 根据表 38 中任何组合解码窄带物理下行控制信道和对应的窄带物理下行共享信道,C-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

表 38 C-RNTI 配置的窄带物理下行控制信道和窄带物理下行共享信道

DCI 格式	搜索空间	对应窄带物理下行控制信道的窄带物理下行共享信道传输方案
DCI 格式 N1	UE 专有	若窄带物理广播信道天线数目为 1,则使用端口 2000(见 4.4.5.2.2),否则发射分集(见 4.4.5.2.3)

如果高层配置 UE 在随机接入过程中对由临时 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,且未配置对由 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 根据表 39

中任何组合解码窄带物理下行控制信道和对应的窄带物理下行共享信道,临时 C-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

如果高层配置 UE 在随机接入过程中对由 C-RNTI 进行 CRC 加扰的窄带物理下行控制信道进行解码,则 UE 根据随机接入过程中窄带物理下行控制信道和表 39 中定义的任何组合解码窄带物理下行控制信道和对应的窄带物理下行共享信道,C-RNTI 对窄带物理下行控制信道对应的窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

表 39 随机接入过程中窄带物理下行控制信道和窄带物理下行共享信道

DCI 格式	搜索空间	对应窄带物理下行控制信道的窄带物理下行共享信道传输方案
DCI 格式 N1	Type-2 公有	若窄带物理广播信道天线数目为 1,则使用端口 2000(见 4.4.5.2.2),否则发射分集(见 4.4.5.2.3)

对于携带 SystemInformationBlockType1-NB 和 SI-messages 的窄带物理下行共享信道来说,UE 按照表 40 的传输方案进行窄带物理下行共享信道解码,SI-RNTI 对窄带物理下行共享信道的加扰进行初始化。

表 40 SI-RNTI 配置的窄带物理下行控制信道

窄带物理下行共享信道传输方案
若窄带物理下行共享信道天线数目为 1,则使用单天线端口(见 4.4.5.2.2),否则发射分集(见 4.4.5.2.3)

4.4.5.2.2 单天线端口方案

对于窄带物理下行共享信道的单天线端口传输方案(端口 2000),UE 在单天线端口上发送信号时,预编码如式(55)所示:

$$y^{(p)}(i) = x^{(0)}(i) \quad \dots\dots\dots (55)$$

式中:

$p \in \{0, 4, 5\}$ 是用来作为物理信道传输的单天线端口号;

$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1$;

$M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 。

4.4.5.2.3 发射分集方案

对于窄带物理下行共享信道的发射分集传输方案,UE 假定在窄带物理下行共享信道上进行 eNB 传输,预编码的输出 $y(i) = [y^{(0)}(i) \ y^{(1)}(i)]^T, i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{ap}} - 1$ 如式(56)所示。

$$\begin{bmatrix} y^{(0)}(2i) \\ y^{(1)}(2i) \\ y^{(0)}(2i+1) \\ y^{(1)}(2i+1) \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & j & 0 \\ 0 & -1 & 0 & j \\ 0 & 1 & 0 & j \\ 1 & 0 & -j & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{Re}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Re}(x^{(1)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(0)}(i)) \\ \text{Im}(x^{(1)}(i)) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (56)$$

式中:

$i = 0, 1, \dots, M_{\text{symp}}^{\text{layer}} - 1$;

$M_{\text{symp}}^{\text{ap}} = 2M_{\text{symp}}^{\text{layer}}$ 。

4.4.5.2.4 资源分配

用于窄带物理下行共享信道的 DCI 格式 N1 和 N2(寻呼)中的资源分配信息向 UE 的调度指示

如下：

- 子帧数量 N_{SF} 由对应 DCI 中资源分配字段 I_{SF} 根据表 41 确定；
- 重复次数 N_{Rep} 由对应 DCI 中重复次数字段 I_{Rep} 根据表 42 确定。

表 41 窄带物理下行共享信道子帧数 (N_{SF})

I_{SF}	N_{SF}
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	8
7	10

表 42 窄带物理下行共享信道重复次数 (N_{Rep})

I_{Rep}	N_{Rep}
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128
8	192
9	256
10	384
11	512
12	768
13	1 024
14	1 536
15	2 048

携带 SystemInformationBlockType1-NB 的窄带物理下行共享信道重复次数按照表 43 根据高层配置参数 schedulingInfoSIB1 确定。

表 43 携带 SystemInformationBlockType1-NB 的窄带物理下行共享信道的重复次数

schedulingInfoSIB1 值	窄带物理下行共享信道重复次数
0	4
1	8
2	16
3	4
4	8
5	16
6	4
7	8
8	16
9	4
10	8
11	16
12~15	保留

携带 SystemInformationBlockType1-NB 窄带物理下行共享信道第一次传输的起始帧由表 44 给出。

表 44 携带 SystemInformationBlockType1-NB 的窄带物理下行共享信道第一次传输的起始无线帧

窄带物理下行共享信道重复次数	N_{ID}^{Ncell}	窄带系统消息块 1 重复起始帧编号 ($n_f \bmod 256$)
4	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 4 = 0$	0
	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 4 = 1$	16
	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 4 = 2$	32
	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 4 = 3$	48
8	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 2 = 0$	0
	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 2 = 1$	16
16	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 2 = 0$	0
	$N_{ID}^{Ncell} \bmod 2 = 1$	1

4.4.5.2.5 窄带物理下行共享信道起始位置

用于窄带物理下行共享信道的起始 OFDM 符号由子帧 k 中第一时隙索引 $l_{DataStart}$ 给出,执行如下操作:

- 当子帧 k 是用于接收 SIB1-NB 的子帧时,如果高层参数 operationModeInfo 为 00 或 01,则 $l_{DataStart} = 3$,否则 $l_{DataStart} = 0$ 。
- 否则,如果存在高层参数 eutraControlRegionSize,则根据高层参数 eutraControlRegionSize 确

定 $l_{\text{DataStart}}$ ，除此以外 $l_{\text{DataStart}} = 0$ 。

4.4.5.2.6 调制阶数和传输块大小

UE 使用调制阶数 $Q_m = 2$ ，为确定窄带物理下行共享信道中的传输块长度，UE 执行以下操作：

a) 如果窄带物理下行共享信道携带 SystemInformationBlockType1-NB 参数，根据高层配置的参数 schedulingInfoSIB1 设置 I_{TBS} 的值；否则读取 DCI 中调制和编码方案字段 I_{MCS} 并设置 $I_{\text{TBS}} = I_{\text{MCS}}$ ；

b) 如果窄带物理下行共享信道携带 SystemInformationBlockType1-NB 参数，确定传输块长度，否则读取 DCI 中资源分配字段 I_{SF} ，确定其 TBS。

在窄带物理下行控制信道上发送 NDI 和 TBS 至高层。

TBS 根据表 45 的确定，如果高层参数 operationModeInfo 设置为 00 或 01，则 $0 \leq I_{\text{TBS}} \leq 10$ 。

表 45 传输块大小表

I_{TBS}	I_{SF}							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	16	32	56	88	120	152	208	256
1	24	56	88	144	176	208	256	344
2	32	72	144	176	208	256	328	424
3	40	104	176	208	256	328	440	568
4	56	120	208	256	328	408	552	680
5	72	144	224	328	424	504	680	
6	88	176	256	392	504	600		
7	104	224	328	472	584	680		
8	120	256	392	536	680			
9	136	296	456	616				
10	144	328	504	680				
11	176	376	584					
12	208	440	680					

TBS 由表 46 的 I_{TBS} 给出。

表 46 窄带物理下行共享信道携带 SystemInformationBlockType1-NB 时传输块大小表

I_{TBS}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TBS	208	208	208	328	328	328	440	440	440	680	680	680	保留			

4.4.5.3 报告 ACK/NACK 的终端处理过程

如果 UE 检测到窄带物理下行共享信道传输且窄带物理下行共享信道传输在子帧 n 结束，UE 提供 ACK/NACK；UE 在 N 个连续上行时隙中使用窄带物理上行共享信道格式 2 传输 ACK/NACK 响应，传输开始于下行链路子帧 $n + k_0 - 1$ 传输结束之后，相关参数如下定义：

—— $N_{\text{Rep}}^{\text{AN}}$ 由用于配置与 Msg4 窄带物理下行共享信道传输相关的窄带物理随机接入信道资源的高



层参数 ack-NACK-NumRepetitions-Msg4 给出,否则由高层参数 ack-NACK-NumRepetitions 给出, $N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ 为资源单元的时隙数目,见 4.1.2.3;

——ACK/NACK 分配的子载波和 k_0 的值根据表 47 和表 48 确定。

表 47 窄带物理上行共享信道子载波间隔 $\Delta f = 3.75 \text{ kHz}$ 时 ACK/NACK 子载波和 k_0

ACK/NACK 资源域的取值	ACK/NACK 子载波	k_0
0	38	13
1	39	13
2	40	13
3	41	13
4	42	13
5	43	13
6	44	13
7	45	13
8	38	21
9	39	21
10	40	21
11	41	21
12	42	21
13	43	21
14	44	21
15	45	21

表 48 NPUSH 子载波间隔 $\Delta f = 15 \text{ kHz}$ 时 ACK/NACK 子载波和 k_0

ACK/NACK 资源域的取值	ACK/NACK 子载波	k_0
0	0	13
1	1	13
2	2	13
3	3	13
4	0	15
5	1	15
6	2	15
7	3	15
8	0	17
9	1	17
10	2	17
11	3	17
12	0	18

表 48 (续)

ACK/NACK 资源域的取值	ACK/NACK 子载波	k_0
13	1	18
14	2	18
15	3	18

4.4.6 窄带物理下行控制信道相关过程

UE 根据高层信令的配置监视窄带物理下行控制信道候选集(见 4.2.5.1),其中监视指按照所有被监测的 DCI 格式尝试解码候选集中的每个窄带物理下行控制信道候选。

根据窄带物理下行控制信道搜索空间定义被监视的窄带物理下行控制信道候选集合。

UE 监视下列单个或多个搜索空间:

- 窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间;
- 窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间;
- 窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间。

UE 不需要同时监听以下空间:

- 窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间和窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间;
- 窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间和窄带物理下行控制信道类型 2 公有搜索空间;
- 窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间和窄带物理下行控制信道类型 2 公有搜索空间。

聚合等级 $L' \in \{1, 2\}$ 和重复等级 $R \in \{1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1\ 024, 2\ 048\}$ 的窄带物理下行控制信道搜索空间 $NS_k^{(L', R)}$ 由窄带物理下行控制信道候选集定义,其中每个窄带物理下行控制信道候选在开始于子帧 k 且不包含传输 SI 消息子帧的连续 R 个有效下行子帧上重复。

对于窄带物理下行控制信道的用户专有搜索空间,搜索空间的聚合等级和重复等级以及相应的窄带物理下行控制信道候选在表 49 中列出,其中 R_{\max} 对应高层配置参数 npdcch-NumRepetitions。

对于窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间,搜索空间的聚合等级和重复等级在表 50 中列出,其中, R_{\max} 对应高层配置参数 npdcch-NumRepetitionPaging。

对于窄带物理下行控制信道类型 2 公有搜索空间,定义搜索空间的聚合等级和重复等级以及相应的要监控的窄带物理下行控制信道候选在表 51 中列出,其中 R_{\max} 对应高层配置参数 npdcch-NumRepetitions-RA。

根据 $k = k_b$ 确定起始子帧 k 的位置,其中 k_b 是始于子帧 k_0 的第 b 个连续有效下行子帧,不包括用于 SI 消息的传输子帧, $b = u \cdot R, u = 0, 1, \dots, \frac{R_{\max}}{R} - 1$ 以及:

- a) 子帧 k_0 是满足条件 $(10n_f + \lfloor n_s/2 \rfloor) \bmod T = \lfloor \alpha_{\text{offset}} \cdot T \rfloor$ 的子帧,其中 $T = R_{\max} \cdot G, T \geq 4$ 。
- b) 对于窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间:
 - 根据高层参数 npdcch-StartSF-USS 确定 G ;
 - 根据高层参数 npdcch-Offset-USS 确定 α_{offset} 。
- c) 对于窄带物理下行控制信道类型 2 公有搜索空间:
 - 根据高层参数 npdcch-StartSF-CSS-RA 确定 G ;
 - 根据高层参数 npdcch-Offset-RA 确定 α_{offset} 。

对于窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间, $k = k_0$ 且由寻呼时机子帧的位置确定。

如果高层为 UE 配置用于监控窄带物理下行控制信道 UE 专有搜索空间的载波,则

- UE 在高层配置的载波上监控窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间;
- UE 在高层配置的载波上不接收 NPSS、NSSS 和窄带物理广播信道。

除此以外,UE 在 NPSS、NSSS 和窄带物理广播信道的载波上监控窄带物理下行控制信道 UE 专有搜索空间。

表 49 窄带物理下行控制信道用户专有搜索空间候选

R_{\max}	R	DCI 子帧重复次数	要监控的窄带物理下行控制信道候选的 NCCE 索引	
			$L'=1$	$L'=2$
1	1	00	$\{0\}, \{1\}$	$\{0,1\}$
2	1	00	$\{0\}, \{1\}$	$\{0,1\}$
	2	01	—	$\{0,1\}$
4	1	00	—	$\{0,1\}$
	2	01	—	$\{0,1\}$
	4	10	—	$\{0,1\}$
≥ 8	$R_{\max}/8$	00	—	$\{0,1\}$
	$R_{\max}/4$	01	—	$\{0,1\}$
	$R_{\max}/2$	10	—	$\{0,1\}$
	R_{\max}	11	—	$\{0,1\}$
注 1: $\{x\}, \{y\}$ 表示要监控的窄带物理下行控制信道格式 0 候选的 NCCE 索引为“ x ”,以及要监控的窄带物理下行控制信道格式 0 候选的 NCCE 索引为“ y ”。 注 2: $\{x, y\}$ 表示要监控的窄带物理下行控制信道格式 1 候选的 NCCE 索引为“ x ”和“ y ”。				

表 50 窄带物理下行控制信道类型 1 公有搜索空间候选

R_{\max}	R								要监控的窄带物理下行控制信道 候选的 NCCE 的索引	
									$L'=1$	$L'=2$
1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	$\{0,1\}$
2	1	2	—	—	—	—	—	—	—	$\{0,1\}$
4	1	2	4	—	—	—	—	—	—	$\{0,1\}$
8	1	2	4	8	—	—	—	—	—	$\{0,1\}$
16	1	2	4	8	16	—	—	—	—	$\{0,1\}$
32	1	2	4	8	16	32	—	—	—	$\{0,1\}$
64	1	2	4	8	16	32	64	—	—	$\{0,1\}$
128	1	2	4	8	16	32	64	128	—	$\{0,1\}$
256	1	4	8	16	32	64	128	256	—	$\{0,1\}$
512	1	4	16	32	64	128	256	512	—	$\{0,1\}$
1 024	1	8	32	64	128	256	512	1 024	—	$\{0,1\}$
2 048	1	8	64	128	256	512	1 024	2 048	—	$\{0,1\}$
DCI subframe repetition number	000	001	010	011	100	101	110	111		
注： $\{x,y\}$ 表示要监控的窄带物理下行控制信道格式 1 候选的 NCCE 的索引为“ x ”和“ y ”。										

表 51 窄带物理下行控制信道类型 2 公有搜索空间候选

R_{\max}	R	DCI 子帧重复次数	所监听的窄带物理下行控制信道候选集的 NCCE 序号	
			$L'=1$	$L'=2$
1	1	00	—	$\{0,1\}$
2	1	00	—	$\{0,1\}$
	2	01	—	$\{0,1\}$
4	1	00	—	$\{0,1\}$
	2	01	—	$\{0,1\}$
	4	10	—	$\{0,1\}$
≥ 8	$R_{\max}/8$	00	—	$\{0,1\}$
	$R_{\max}/4$	01	—	$\{0,1\}$
	$R_{\max}/2$	10	—	$\{0,1\}$
	R_{\max}	11	—	$\{0,1\}$
注： $\{x,y\}$ 表示要监控的窄带物理下行控制信道格式 1 候选的 NCCE 的索引为“x”和“y”。				

如果 UE 检测到使用 DCI 格式 N0 且在子帧 n 结束的窄带物理下行控制信道或者接收到携带有随机接入响应授权且在子帧 n 结束的窄带物理下行共享信道,并且如果相应的窄带物理上行共享信道格式 1 传输从 $n+k$ 开始,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+k-1$ 的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果 UE 检测到使用 DCI 格式 N1 或 N2 且在子帧 n 结束的窄带物理下行控制信道,并且如果相应的窄带物理下行共享信道传输从 $n+k$ 开始,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+k-1$ 的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果 UE 检测到使用 DCI 格式 N1 且在子帧 n 结束的窄带物理下行控制信道,并且如果对应的窄带物理上行共享信道格式 2 传输从子帧 $n+k$ 开始,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+k-1$ 的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果 UE 检测到使用 DCI 格式 N1 且在子帧 n 结束的窄带物理下行控制信道,其中,DCI 格式 N1 用于“PDCCH order”,并且如果相应的窄带物理随机接入信道传输从子帧 $n+k$ 开始,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+k-1$ 的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果 UE 有窄带物理上行共享信道传输且在子帧 n 结束,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+3$ 的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果 UE 接收到在子帧 n 结束的窄带物理下行共享信道传输,并且如果 UE 不需要发送对应的窄带物理上行共享信道格式 2,则 UE 不需要在从子帧 $n+1$ 开始到子帧 $n+12$ 开始的任何子帧中监测窄带物理下行控制信道。

如果窄带物理下行控制信道搜索空间的一个窄带物理下行控制信道候选在子帧 n 结束,并且如果 UE 被配置为监控起始子帧 k 。位于子帧 $n+5$ 之前的另一个窄带物理下行控制信道搜索空间的窄带物理下行控制信道候选,则 UE 不需要监测窄带物理下行控制信道搜索空间的窄带物理下行控制信道候选。

在窄带物理上行共享信道上行间隙期间,UE 不需要监测窄带物理下行控制信道搜索空间的窄带物理下行控制信道候选。

在子帧 k 的第一个时隙中由索引 $l_{\text{NPDCCHstart}}$ 给出的窄带物理下行控制信道的起始 OFDM 符号被确

定如下：

- a) 如果存在高层参数 $\text{eutraControlRegionSize}$, $l_{\text{NPDCCHStart}}$ 由高层参数 $\text{eutraControlRegionSize}$ 给出；
- b) 除此以外, $l_{\text{NPDCCHStart}} = 0$ 。

如果未检测到一致的控制信息,则 UE 将丢弃窄带物理下行控制信道。

4.4.7 小区专有参考信号序列和信道栅格偏移的获取过程

如果高层参数 operationModeInfo 指示 inband-SamePCI ,则 UE 根据表 52 从高层参数 $\text{eutra-CRS-SequenceInfo}$ 推导出小区专有参考信号序列和信道栅格偏移,其中 E-UTRA PRB 索引 n'_{PRB} 定义为 $n'_{\text{PRB}} = n_{\text{PRB}} - \lfloor N_{\text{RB}}^{\text{DL}}/2 \rfloor$ 。

表 52 $\text{eutra-CRS-SequenceInfo}$ 定义

$\text{eutra-CRS-SequenceInfo}$	奇数 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$ 的 E-UTRA PRB 序号	信道栅格 偏移	$\text{eutra-CRS-SequenceInfo}$	偶数 $N_{\text{RB}}^{\text{DL}}$ 的 E-UTRA PRB 序号 n'_{PRB}	信道栅格 偏移
0	−35	−7.5 kHz	14	−46	+2.5 kHz
1	−30		15	−41	
2	−25		16	−36	
3	−20		17	−31	
4	−15		18	−26	
5	−10		19	−21	
6	−5		20	−16	
7	5	+7.5 kHz	21	−11	−2.5 kHz
8	10		22	−6	
9	15		23	5	
10	20		24	10	
11	25		25	15	
12	30		26	20	
13	35		27	25	
			28	30	
			29	35	
			30	40	
			31	45	

4.4.8 物理层专用调度请求过程

物理层专用调度请求信号通过基于单个窄带物理随机接入信道符号组的信号发送。

通过 RRC 信令半静态地将物理层专用调度请求发送资源配置在非竞争随机接入资源上,配置参数包含：

- 载波指示取值范围是 $\{0, 1, \dots, 15\}$ ；
- 基于单个窄带物理随机接入信道符号数的信号子载波指示取值范围 $\{0, 1, \dots, 47\}$ ；
- 重复次数。

通过物理层 DCI 信令动态地使能/去使能 RRC 配置的专用调度请求发送资源。使能/去使能专用调度请求发送资源的动态物理层信令通过下行授权或下行授权发送。半静态配置的专用调度请求发送资源通过调度最后一个窄带物理上行共享信道数据发送的上行授权使能或通过调度第 1 个窄带物理上行共享信道数据发送的上行授权去使能。基站通过成功收到用户设备的窄带物理上行共享信道或 HARQ-ACK 反馈来确认用户设备是否已接收到“使能/去使能”信号。

4.4.9 跨载波调度过程

对于随机接入过程的 RAR 消息、Msg3、Msg4 和 paging 等公有消息,通过系统消息指示发送相应的载波集合,在窄带随机接入响应授权消息中增加字段指示 Msg3 的载波序号,通过 DCI 信令动态指示 RAR 消息、Msg4、重传 Msg3 和 paging 的载波序号。

对于用户专有数据,通过高层 RRC 信令配置跨载波调度的载波集合,通过 DCI 信令动态指示窄带物理下行共享信道或窄带物理上行共享信道格式 1 的发送载波序号。

5 MAC 层

5.1 MAC 协议格式

5.1.1 协议数据单元

5.1.1.1 概述

MAC PDU 是在长度上以字节对齐的比特串(即 8 比特的倍数)。见图 10,比特串采用表格的形式,最高有效位位于表格第一行的最左侧,最低有效位位于表格最后一行的最右侧,比特串通常从左至右逐行读取。MAC PDU 中参数域的比特顺序是将第一个即最高有效位放置最左边,最后一个即最低有效位放置最右边。

MAC SDU 是在长度上以字节对齐的比特串(即 8 比特的倍数)。MAC PDU 包含 SDU,从第一个比特开始。MAC 实体忽略下行 MAC PDU 中的保留比特值。

5.1.1.2 MAC PDU(不包括透明模式和随机接入响应模式的 MAC PDU)

MAC PDU 包含 MAC 头、0 或多个 MAC 服务数据单元(MAC SDU)、0 或多个 MAC 控制单元以及填充,如图 10 所示。

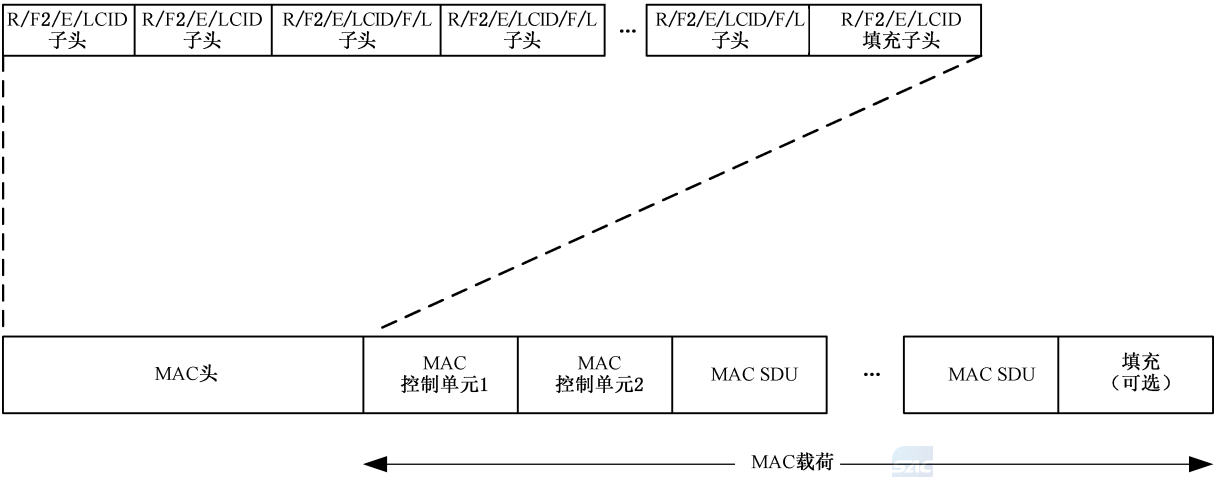


图 10 MAC PDU 格式示例

MAC 头和 MAC SDU 的长度可变。MAC PDU 头包含一个或多个 MAC PDU 子头,每个子头对应一个 MAC SDU 或一个 MAC 控制单元或填充。

除 MAC PDU 内最后一个子头以及固定长度 MAC 控制单元的子头之外,MAC PDU 子头包含五个或六个头字段 R/F2/E/LCID/(F)/L。MAC PDU 内最后一个子头以及固定长度的 MAC 控制单元子头包含四个头字段 R/F2/E/LCID。填充对应的 MAC PDU 子头也包含四个头字段 R/F2/E/LCID。具体如图 11~图 13 所示。

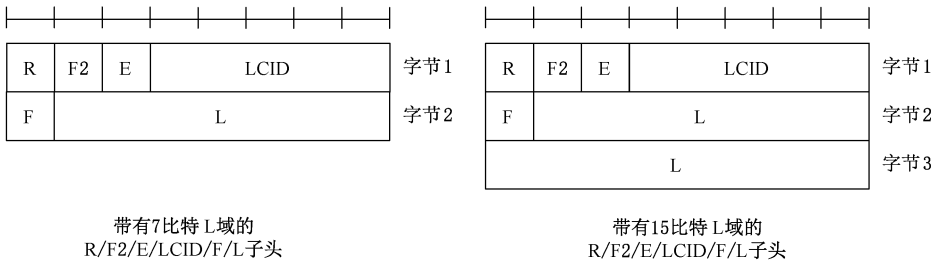


图 11 R/F2/E/LCID/F/L MAC 子头

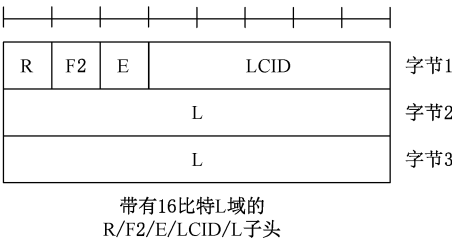


图 12 R/F2/E/LCID/F/L MAC 子头

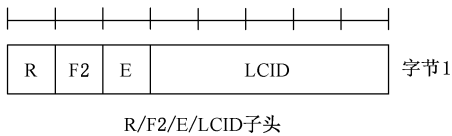


图 13 R/F2/E/LCID MAC 子头

MAC PDU 子头的顺序与对应的 MAC SDU、MAC 控制单元以及填充的顺序一致。MAC 控制单元位于所有 MAC SDU 的前面。当需要填充 1 字节或 2 字节时,与该填充对应的 1 个或 2 个子头应置于 MAC PDU 最起始的位置,其他子头之前。当填充 0 个或多个填充字节,填充位于 MAC PDU 末尾处。填充可以是任意值,MAC 实体应将忽略任意填充。

每个 MAC 实体的每个 TB 块最多可传输一个 MAC PDU。

5.1.1.3 MAC 控制单元

5.1.1.3.1 缓存状态报告 MAC 控制单元

缓存状态报告 MAC 控制单元包括短 BSR 和截断 BSR 格式,由 LCG ID 域和相应缓存大小字段组成,见图 14,其中各域的含义如下:

- LCG ID 域:长度为 2 比特,指示正在上报缓存状态的逻辑信道组,其值固定设置为 0;
- 缓冲区:长度为 6 比特,指示针对当前 TTI 的所有 MAC PDU 被构造完成后,逻辑信道组中所有逻辑信道上的可用数据总量,包括 RLC 层和 PDCP 层所有可用于传输的有效数据。可用于传输的有效数据分别见 RLC 层协议和 PDCP 层协议定义。计算缓存大小时,RLC 头和 MAC 头的长度忽略不计,缓存大小字段的取值见表 53。

BSR 格式由相应 MAC PDU 子头中 LCID 域标识,见表 61。

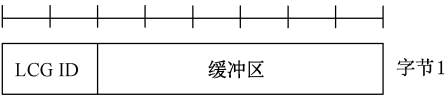


图 14 短 BSR 以及截断 BSR MAC 控制单元

表 53 BSR 的缓存大小等级

序号	缓冲区数据量大小(字节)	序号	缓冲区数据量大小(字节)
0	$BS=0$	32	$1\ 132<BS\leq 1\ 326$
1	$0<BS\leq 10$	33	$1\ 326<BS\leq 1\ 552$
2	$10<BS\leq 12$	34	$1\ 552<BS\leq 1\ 817$
3	$12<BS\leq 14$	35	$1\ 817<BS\leq 2\ 127$
4	$14<BS\leq 17$	36	$2\ 127<BS\leq 2\ 490$
5	$17<BS\leq 19$	37	$2\ 490<BS\leq 2\ 915$
6	$19<BS\leq 22$	38	$2\ 915<BS\leq 3\ 413$
7	$22<BS\leq 26$	39	$3\ 413<BS\leq 3\ 995$
8	$26<BS\leq 31$	40	$3\ 995<BS\leq 4\ 677$
9	$31<BS\leq 36$	41	$4\ 677<BS\leq 5\ 476$
10	$36<BS\leq 42$	42	$5\ 476<BS\leq 6\ 411$
11	$42<BS\leq 49$	43	$6\ 411<BS\leq 7\ 505$
12	$49<BS\leq 57$	44	$7\ 505<BS\leq 8\ 787$
13	$57<BS\leq 67$	45	$8\ 787<BS\leq 10\ 287$
14	$67<BS\leq 78$	46	$10\ 287<BS\leq 12\ 043$
15	$78<BS\leq 91$	47	$12\ 043<BS\leq 14\ 099$
16	$91<BS\leq 107$	48	$14\ 099<BS\leq 16\ 507$
17	$107<BS\leq 125$	49	$16\ 507<BS\leq 19\ 325$
18	$125<BS\leq 146$	50	$19\ 325<BS\leq 22\ 624$
19	$146<BS\leq 171$	51	$22\ 624<BS\leq 26\ 487$
20	$171<BS\leq 200$	52	$26\ 487<BS\leq 31\ 009$
21	$200<BS\leq 234$	53	$31\ 009<BS\leq 36\ 304$
22	$234<BS\leq 274$	54	$36\ 304<BS\leq 42\ 502$
23	$274<BS\leq 321$	55	$42\ 502<BS\leq 49\ 759$
24	$321<BS\leq 376$	56	$49\ 759<BS\leq 58\ 255$
25	$376<BS\leq 440$	57	$58\ 255<BS\leq 68\ 201$
26	$440<BS\leq 515$	58	$68\ 201<BS\leq 79\ 846$
27	$515<BS\leq 603$	59	$79\ 846<BS\leq 93\ 479$
28	$603<BS\leq 706$	60	$93\ 479<BS\leq 109\ 439$
29	$706<BS\leq 826$	61	$109\ 439<BS\leq 128\ 125$
30	$826<BS\leq 967$	62	$128\ 125<BS\leq 150\ 000$
31	$967<BS\leq 1\ 132$	63	$BS>150\ 000$

5.1.1.3.2 C-RNTI MAC 控制单元

C-RNTI MAC 控制单元由 MAC PDU 子头和由表 57 定义的 LCID 来标识。
C-RNTI MAC 控制单元有固定长度,长度为 16 比特,内容见图 15。

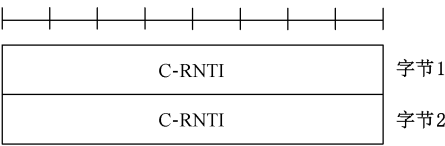


图 15 C-RNTI MAC 控制单元

5.1.1.3.3 DRX 命令 MAC 控制单元

DRX 命令 MAC 控制单元通过携带表 60 中 LCID 的 MAC PDU 子头来标识。
DRX 命令 MAC 控制单元具有固定长度,长度为 0 比特。

5.1.1.3.4 UE 竞争解决标识 MAC 控制单元

UE 竞争解决标识 MAC 控制单元通过携带表 60 中定义的 LCID 的 MAC PDU 子头来标识。该 MAC 控制单元具有 48 比特的固定长度,见图 16。
如果上行链路 CCCH SDU 长度为 48 比特,UE 竞争解决标识域包含上行链路 CCCH SDU。如果 CCCH SDU 长度大于 48 比特,这个域包含上行链路 CCCH SDU 的前 48 比特。

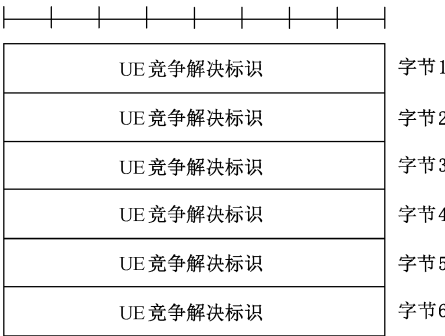


图 16 UE 竞争解决标识 MAC 控制单元

5.1.1.3.5 时间提前命令 MAC 控制单元

时间提前命令 MAC 控制单元通过携带表 60 中定义 LCID 的 MAC PDU 子头来标识。
时间提前命令 MAC 控制单元具有固定长度,组成见图 17,其定义如下:
——TAG Id:长度为 2 比特,指示寻找到时机提前组的 TAG 标识;
——时间提前命令:长度为 6 比特,指示 MAC 实体用于控制时间调整量的索引值 $T_A(0,1,2,\dots,63)$ (见 4.4.1.2)。

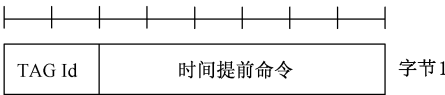


图 17 时间提前命令 MAC 控制单元

5.1.1.3.6 数据量和功率余量报告 MAC 控制单元

数据量和功率余量报告 MAC 控制单元由 CCCH 的 MAC PDU 子头或对应 LCID 的 MAC PDU 子头识别,如表 61 所示。在 Msg3 发送数据量和功率余量报告 MAC 控制单元时不附加其他额外的子头,并且置于 CCCH 中 MAC SDU 之前。Msg3 之后发送数据量和功率余量报告 MAC 控制单元时,需要由对应 LCID 的 MAC PDU 子头识别。

该 MAC 控制单元的长度固定为 1 字节,如图 18 和图 19 所示,其定义如下:

- 数据量 DV:长度为 4 比特,数据量字段标识所有逻辑信道上的可用数据以及该 TTI 上所有已构造 MAC PDU 之后尚未关联到某个逻辑信道的数据总量。数据量大小由字节数表示。它应包含所有可用于 RLC 层,PDPCP 层以及 RRC 层传输的数据。RLC 和 MAC 头的大小在缓冲区大小计算时不考虑。取值见表 54。
- 功率余量 PH:长度为 2 比特,指示功率余量等级。上报的功率余量值与功率余量等级的对应关系见表 55 和表 56 所示,功率余量等级与具体的功率余量值的对应关系见表 57、表 58、表 59。
- R:保留比特,设置为 0。
- PH Seg:功率余量值分段指示。其值为 0 表示 PH 值为扩展前的功率余量取值;其值为 1、2 或 3 时表示 PH 值为新扩展的功率余量取值,见表 55。



图 18 数据量和功率余量报告 MAC 控制单元



图 19 扩展后的数据量及功率余量 MAC 控制单元

表 54 数据量字段取值

序号	数据量值	序号	数据量值
0	DV = 0	8	$67 < DV \leq 91$
1	$0 < DV \leq 10$	9	$91 < DV \leq 125$
2	$10 < DV \leq 14$	10	$125 < DV \leq 171$
3	$14 < DV \leq 19$	11	$171 < DV \leq 234$
4	$19 < DV \leq 26$	12	$234 < DV \leq 321$
5	$26 < DV \leq 36$	13	$321 < DV \leq 768$
6	$36 < DV \leq 49$	14	$768 < DV \leq 1\ 500$
7	$49 < DV \leq 67$	15	$DV > 1\ 500$

表 55 扩展后的功率余量等级

PH Seg	PH 值	功率余量等级
0	0	POWER_HEADROOM_0
	1	POWER_HEADROOM_1
	2	POWER_HEADROOM_2
	3	POWER_HEADROOM_3
1	0	POWER_HEADROOM_4
	1	POWER_HEADROOM_5
	2	POWER_HEADROOM_6
	3	POWER_HEADROOM_7
2	0	POWER_HEADROOM_8
	1	POWER_HEADROOM_9
	2	POWER_HEADROOM_10
	3	POWER_HEADROOM_11
3	0	POWER_HEADROOM_12
	1	POWER_HEADROOM_13
	2	POWER_HEADROOM_14
	3	POWER_HEADROOM_15

表 56 功率余量等级

PH 值	功率余量等级
0	POWER_HEADROOM_0
1	POWER_HEADROOM_1
2	POWER_HEADROOM_2
3	POWER_HEADROOM_3

表 57 增强覆盖级别 0 对应的功率余量值

功率余量等级	功率余量测量值 dB
POWER_HEADROOM_0	$[-54] \leq PH < 5$
POWER_HEADROOM_1	$5 \leq PH < 8$
POWER_HEADROOM_2	$8 \leq PH < 11$
POWER_HEADROOM_3	$PH \geq 11$

表 58 增强覆盖级别 1 和 2 对应的功率余量值

功率余量等级	功率余量测量值 dB
POWER_HEADROOM_0	$[-54] \leq PH < -10$
POWER_HEADROOM_1	$-10 \leq PH < -2$
POWER_HEADROOM_2	$-2 \leq PH < 6$
POWER_HEADROOM_3	$PH \geq 6$

表 59 扩展的功率余量值

功率余量等级	功率余量测量值 dB
POWER_HEADROOM_4	$-54 \leq PH < -20$
POWER_HEADROOM_5	$-20 \leq PH < -17$
POWER_HEADROOM_6	$-17 \leq PH < -14$
POWER_HEADROOM_7	$-14 \leq PH < -11$
POWER_HEADROOM_8	$-11 \leq PH < -8$
POWER_HEADROOM_9	$-8 \leq PH < -5$
POWER_HEADROOM_10	$-5 \leq PH < -2$
POWER_HEADROOM_11	$-2 \leq PH < 1$
POWER_HEADROOM_12	$1 \leq PH < 5$
POWER_HEADROOM_13	$5 \leq PH < 8$
POWER_HEADROOM_14	$8 \leq PH < 11$
POWER_HEADROOM_15	$PH \geq 11$

5.1.1.4 透明模式的 MAC PDU

MAC PDU 仅由一个 MAC 服务数据单元 MAC SDU 组成,其长度与 TB 块对齐,如图 20 所示。MAC PDU 用于 PCH 和 BCH,包括 BCCH 下行链路上的 SCH 传输。

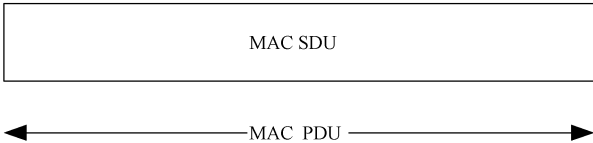


图 20 透明 MAC PDU 格式

5.1.1.5 随机接入响应 MAC PDU

MAC PDU 的头部包含一个或多个 MAC PDU 子头。除退避指示子头外,每个子头对应一个



MAC RAR。如果包含退避指示子头,该子头应只出现一次且置于 MAC PDU 头的第一个子头位置。

MAC PDU 子头包含三个头字段 E/T/RAPID,如图 21 所示,但是退避指示子头包含 5 个头字段 E/T/R/R/BI,如图 22 所示。

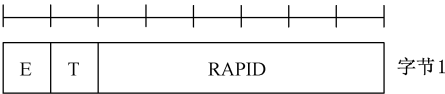


图 21 E/T/RAPID MAC 子头



图 22 E/T/R/R/BI MAC 子头

MAC RAR 包括保留字段、时间提前命令、上行授权、临时 C-RNTI 和子标识域(子标识仅对于 1.25 kHz 子载波间隔的随机接入 MAC RAR 有效),见图 23 和图 24。

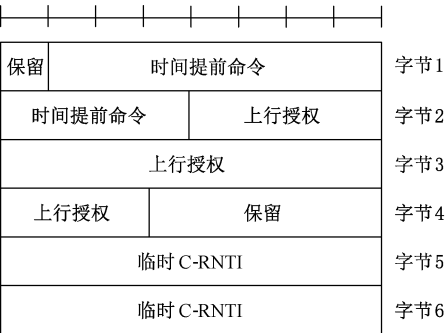


图 23 UE 的 MAC RAR

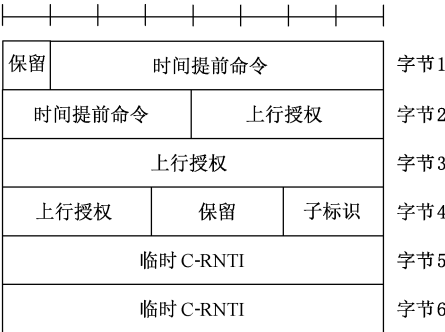


图 24 1.25 kHz 子载波间隔增强的随机接入过程的 MAC RAR

MAC 头的长度可变,如图 25 所示。MAC PDU 包含一个 MAC 头以及 0 或多个 MAC 随机接入响应 MAC RAR 及可选的填充。根据 TB 长度、MAC 头长度以及 RAR 的个数隐含指示确定是否填充及填充的长度。

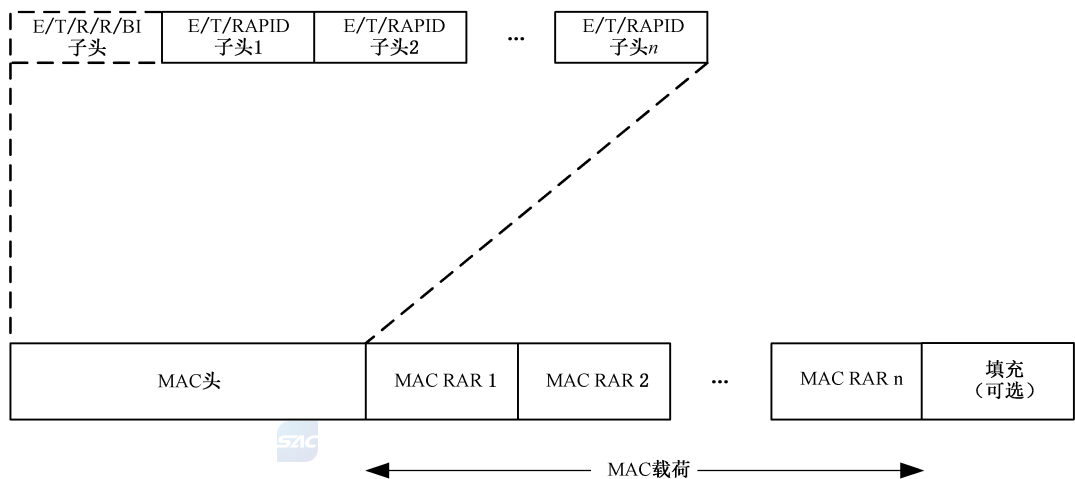


图 25 MAC PDU 示例

5.1.2 格式和参数

5.1.2.1 DL-SCH 和 UL-SCH 的 MAC 头

MAC 头的长度可变,包含如下域:

- LCID 域:长度为 5 比特,标识对应的 MAC SDU 逻辑信道实例或者对应 MAC 控制单元的类型或填充。DL-SCH、UL-SCH 的 LCID 分别见表 60 和表 61。MAC PDU 中每个 MAC SDU、MAC 控制单元或者填充对应一个 LCID 域。除此之外,当需要 1 个或 2 个字节的填充但不能添加在 MAC PDU 尾部时,MAC PDU 中会包含 1 个或 2 个附加的 LCID 域。
- 长度 L 域:指示对应的 MAC SDU 或可变长度的 MAC 控制单元的字节数。除最后一个子头以及固定长度 MAC 控制单元对应的子头外,每个 MAC PDU 子头中有一个 L 域。L 域的大小由 F 域和 F2 域指示。
- 格式 F 域:指示长度域的长度,如表 62 所示。除最后一个子头以及固定长度 MAC 控制单元对应的子头外,以及除了 F2 设置为 1 的情况外,每个 MAC PDU 子头都包含一个 F 域。如果包含 F 域,F 域长度为 1 比特。如果 MAC SDU 或可变长度 MAC 控制单元的长度小于 128 字节,应将 F 域置为 0,否则置为 1。
- F2 域:指示长度域的长度,如表 62 所示。每个 MAC PDU 子头都包含一个 F2 域,F2 域长度为 1 比特。如果 MAC SDU 或可变长度 MAC 控制单元的长度大于 32 767 字节,且如果对应的子头不是最后一个子头,应将 F2 域置为 1,否则置为 0。
- 扩展域 E:扩展域是一个标志位,指示 MAC 头中是否还有其他域。如果 E 域设定为“1”,则表示其后至少还有一组 R/F2/E/LCID 域。如果 E 域设置为“0”,表示从其后的字节起为 MAC SDU 或者 MAC 控制单元或者填充。
- 保留域 R:保留比特,设置为“0”。

MAC 头和子头均为字节对齐的。LCID 值适用于 DL-SCH 中 CCCH、逻辑信道的标识、UE 竞争解决标识、定时提前命令、DRX 命令和填充,见表 60。

表 60 DL-SCH 的 LCID 值

序号	LCID 值
00000	CCCH
00001~01010	逻辑信道的标识
01011~10111	预留
11100	UE 竞争解决标识
11101	定时提前命令
11110	DRX 命令
11111	填充

LCID 值适用于 UL-SCH 中 CCCH(LCID“00000”)、逻辑信道的标识、C-RNTI、短 BSR、扩展后的数据量和功率余量报告、填充和 DPR,见表 61。

表 61 UL-SCH 的 LCID 值

序号	LCID 值
00000	CCCH
00001~01010	逻辑信道的标识
01011	CCCH
01100	CCCH
01101~10100	预留
10101	扩展后的数据量和功率余量报告
11010	DPR
11011	C-RNTI
11101	短 BSR
11111	填充

表 62 F 域和 F2 域的值

F2 域的序号	F 域的序号	域的长度 比特
0	0	7
	1	15
1	—	16

5.1.2.2 随机接入响应的 MAC 头

随机接入响应 MAC 头长度可变,包含如下域:

- 扩展域 E:标志 MAC 头中是否包含其他域。其设置为 1,表示其后至少还有另一组 E/T/ RAPID 域;设置为 0,表示其后字节为 MAC RAR 或者填充。

- 类型域 T:标志 MAC 子头中是否包含随机接入前导码 ID 或退避指示。其设置为 0,表示子头包含退避指示 BI 域;设置为 1,表示子头包含 RAPID 随机接入前导码 ID 域。
- 保留域 R:保留比特,默认设置为 0。
- 退避指示域 BI:长度为 4 比特,表明小区处于过载状态。
- 随机接入前导码标识 RAPID 域:长度为 6 比特,标识已发送的随机接入前导码(见 5.2.1.3),对应子载波索引的开始。对于 1.25 kHz 子载波间隔的随机接入过程,指示随机接入前导码分组的标识域,且 $\text{RAPID} = \text{floor}(\text{子载波索引}/3)$ 。

MAC 头和子头均为字节对齐。

注:随机接入前导码标识域对应于子载波索引的开始。

5.1.2.3 随机接入响应的 MAC 有效载荷

随机接入响应的 MAC 有效载荷长度固定,包含下列域:

- R 域:保留比特,设置为“0”;
- 时间提前命令域:长度为 11 比特,指示 MAC 实体用于控制时间调整量的索引值 $T_A(0,1,2,\dots,1282)$ (见 4.4.1.2);
- 上行授权域:长度为 15 比特,指示用于上行传输的资源(见 4.4.3.4);
- 临时 C-RNTI 域:长度为 16 比特,指示 UE 在随机接入过程中使用的临时 C-RNTI;
- 子载波标识域:其值为(子载波索引 mod 3)+1,该域只对 1.25 kHz 子载波间隔的随机接入有效;对其他子载波间隔的随机接入设置为 0。

注:对于 1.25 kHz 子载波间隔的随机接入,子载波索引 = $\text{RAPID} * 3 + \text{Sub Id} - 1$ 。

5.2 MAC 过程

5.2.1 随机接入过程

5.2.1.1 随机接入过程初始化

随机接入过程初始化由 PDCCH 指令、MAC 层或 RRC 层触发。在随机接入过程中,PDCCH 指令或者 RRC 信令负责指定子载波索引,随机接入过程在锚定载波上执行。

在随机接入过程初始化之前,需要准备的信息有:

- 服务小区中支持 PRACH 资源的可用集合 `nprach-ParametersList`。
- 对于随机接入资源选择和前导码传输:
 - 映射到一个增强覆盖级别的一个 PRACH 资源。
 - 每个 PRACH 资源包含一组 `nprach-NumSubcarrier` 子载波,其可以被划分为一个或两个组,以便通过 `nprach-SubcarrierMSG3-RangeStart` 和 `nprach-NumCBRA-StartSubcarriers` 进行单/多子载波 Msg3 传输,见 4.1.4.1。每个组在以下流程描述中被称为随机接入前导码组:
 - 1) 子载波由以下范围内的子载波索引标识: $[\text{nprach-SubcarrierOffset}, \text{nprach-SubcarrierOffset} + \text{nprach-NumSubcarriers} - 1]$;
 - 2) 随机接入前导码组中的每个子载波对应于一个随机接入前导码。
 - 当从 eNB 显式发送子载波索引作为 PDCCH 命令的一部分时,应将 `ra-PreambleIndex` 设置为该通过信令发送来的子载波索引。
- 将 PRACH 资源映射到增强的覆盖级别根据以下条件确定:
 - 增强覆盖级别的数量等于 `rsrp-ThresholdsPrachInfoList` 中带有的 RSRP 门限数量加 1。
 - 每个增强覆盖级别在 `nprach-ParametersList` 中包含 PRACH 资源。

- 增强覆盖级别从 0 开始编号,并且 PRACH 资源到增强覆盖级别的映射按 numRepetitionPerPreambleAttempt 递增的顺序完成。
- 服务小区中用于基于 RSRP 测量为每个增强覆盖级别选择 PRACH 资源的准则为 rsrp-ThresholdsPrachInfoList。
- 服务小区中支持的每个增强覆盖级别的前导码传输尝试的最大次数为 maxNumPreambleAttemptCE。
- 服务小区中支持的每个增强覆盖级别的前导码传输所需的重复次数为 numRepetitionPerPreambleAttempt。
- 服务小区中 UE 执行随机接入过程的发射功率为 $P_{\text{CMAX},c}$ 。其中 $P_{\text{CMAX},c}$ 由 UE 的最大发射功率级别 $P_{\text{PowerClass}}$ 和网络配置的允许 UE 最大发射功率 P_{Max} 等信息来决定。
- 服务小区中支持的每个增强覆盖级别的 RA 响应窗口大小为 ra-ResponseWindowSize 和竞争解决计时器为 mac-ContentionResolutionTimer(仅限服务小区)。
- 功率攀升因子为 powerRampingStep。
- 前导码传输的最大数量为 preambleTransMax-CE。
- 初始前导码功率为 preambleInitialReceivedTargetPower。
- 基于前导码格式的偏移量 DELTA_PREAMBLE,其值设置为 0。

随机接入处理流程:

- 清空 Msg3 缓存;
- 将 PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER 设置为 1;
- 将 PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER_CE 设置为 1;
- 如果起始 NPRACH 重复数目已经由发起随机接入过程 PDCCH 指令指示,或者如果起始的增强覆盖级别已经由上层提供:
 - 无论测量的 RSRP 为何值,MAC 实体均认为自己处于该增强覆盖级别;
- 否则:
 - 如果高层在 rsrp-ThresholdsPrachInfoList 中配置增强覆盖级别 2 的 RSRP 门限,且测量的 RSRP 小于增强覆盖级别 2 的 RSRP 门限,且 UE 能够支持增强覆盖级别 2,则:
 - MAC 实体认为处于增强覆盖级别 2;
 - 否则,如果测量的 RSRP 小于高层在 rsrp-ThresholdsPrachInfoList 中配置的增强覆盖等级 1 的 RSRP 门限,则 MAC 实体认为处于增强覆盖级别 1;
 - 否则 MAC 实体认为处于增强覆盖级别 0;
- 将退避参数值设置为 0 ms;
- 继续选择随机接入资源(见 5.2.1.2)。

注 1: MAC 实体在任何时间点只有一个随机接入过程正在进行。如果 MAC 实体在一个随机接入过程正在进行的时候,接收到新的随机接入过程的请求,是继续正在进行的过程还是重新开始随机接入过程由 UE 实现决定。

注 2: UE 只在锚定载波做 RSRP 测量。

5.2.1.2 随机接入资源选择

随机接入资源选择过程按如下方式进行:

- 如果随机接入前导码 ra-PreambleIndex 和 PRACH 资源已被显式地指示,则
 - PRACH 资源采用显式指示的资源;
 - 如果指示的 ra-PreambleIndex 不是 000000:
 - 随机接入前导码被设置为 $\text{nprach-SubcarrierOffset} + (\text{ra-PreambleIndex} \bmod \text{nprach-NumSubcarriers})$,其中 nprach-SubcarrierOffset 和 nprach-NumSubcarriers 是当前使

用的 PRACH 资源中的参数；

- 否则：

- 根据 PRACH 资源和多子载波 Msg3 传输支持能力选择随机接入前导组。如果不存在多子载波 Msg3 随机接入前导组，则支持多子载波 Msg3 的 UE 应只选择单子载波 Msg3 随机接入前导组；

- 随机选择所选组内的随机接入前导码。

——否则，随机接入前导码应由 MAC 实体按如下选择：

- MAC 实体应选择所选增强覆盖级别对应的 PRACH 资源，并基于 PRACH 资源和多子载波 Msg3 传输支持能力选择对应的随机接入前导组。如果不存在多子载波 Msg3 随机接入前导组，则支持多子载波 Msg3 的 UE 只应选择单子载波 Msg3 随机接入前导组。
- 如果重传 Msg3，则 MAC 实体应该选择与用于 Msg3 的第一次传输相对应的前导码传输尝试的组相同的随机接入前导码组。
- 随机选择所选组内的随机接入前导码，随机函数满足每个允许选择以相等的概率被选择。

——确定由物理层定时要求给出的限制所允许包含 PRACH 的下一个可用子帧，以及与较高增强覆盖级别有关的 PRACH 资源占用的子帧（MAC 实体应在确定下一个可用 PRACH 子帧时考虑到可能发生的测量间隙）。

——选择对应于所选增强覆盖级别和 PRACH 的 ra-ResponseWindowSize 和 mac-ContentionResolutionTimer。

——继续传输随机接入前导码（见 5.2.1.3）。

5.2.1.3 随机接入前导码传输

随机接入过程按如下进行：

——设置 PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER 为 $\text{preambleInitialReceivedTargetPower} + \text{DELTA_PREAMBLE} + (\text{PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER} - 1) * \text{powerRampingStep}$ ；

——对于增强覆盖级别 0，将 PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER 设置为： $\text{PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER} - 10 * \log_{10}(\text{numRepetitionPerPreambleAttempt})$ ；

——对于其他增强覆盖级别，将 PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER 设置为对应最大 UE 输出功率；

——指示物理层使用对应于所选择的前导码组要求的前导码传输重复次数 numRepetitionPerPreambleAttempt，该前导码组根据与所选择的增强覆盖级别相对应的 PRACH 资源确定，以及相应的 RA-RNTI，子载波索引和 PREAMBLE_RECEIVED_TARGET_POWER 发送前导码。

5.2.1.4 随机接入响应接收

一旦发送随机接入前导码，不论是否出现测量间隙，MAC 实体都应在 RA 响应窗口中监听特定小区的 PDCCH 来接收随机接入响应。在 NPRACH 重复次数大于或等于 64 的情况下，RA 响应窗口在包含最后一个前导码重复的末尾加上 41 个子帧的子帧处开始，并且采用与增强覆盖级别对应的 ra-ResponseWindowSize 窗口长度；在 NPRACH 重复次数小于 64 的情况下，RA 响应窗口在包含最后一个前导码重复的末尾加上 4 个子帧的子帧处开始，并且采用与增强覆盖级别对应的 ra-ResponseWindowSize 窗口长度。

与发送随机接入前导码的 PRACH 相关联的 RA-RNTI 按式(57)计算：

$$\text{RA-RNTI} = 1 + \text{floor}(\text{SFN_id}/4) \dots\dots\dots (57)$$

其中, SFN_id 是指定 NPRACH 的第一个无线帧索引。

在 MAC 实体成功接收到包含与发送的随机接入前导码匹配的随机接入前导码标识符的随机接入响应之后, MAC 实体停止对随机接入响应的监听。接下来 MAC 实体执行以下步骤:

——如果在用于 RA-RNTI 的 PDCCH 上已经接收到针对该 TTI 的下行链路分配, 并且所接收的 TB 被成功解码, 则 MAC 实体将不管是否出现测量间隙:

- 如果随机接入响应包含退避指示符子报头, 按退避指示符子报头 BI 字段和表 65 设置退避参数值;
- 否则将退避参数值设置为 0 ms;
- 如果随机接入响应包含与发送的随机接入前导码相对应的随机接入前导码标识符(见 5.2.1.3), 则 MAC 实体应:

——认为该随机接入响应接收成功, 并对发送随机接入前导码的服务小区执行以下操作:

- 处理收到的定时提前命令(见 5.2.2);
- 将 `preambleInitialReceivedTargetPower` 和用于最新接入前导码传输的功率攀升量(即 $(\text{PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER}-1) \times \text{powerRampingStep}$) 至低层;
- 处理接收到的 UL 授权值并将其指示给低层。

注 1: 当需要上行链路传输时, 例如竞争解决, eNB 不应在随机接入响应中提供小于 88 比特的授权。

注 2: 如在随机接入过程内, 在随机接入响应中为同一组随机接入前导码提供的上行链路授权具有与在随机接入过程期间分配的第一个上行链路授权不同的大小, 则 UE 行为没有被定义。

如果在随机接入响应窗内没有收到随机接入响应, 或者如果所有接收到的随机接入响应都不包含与发送的随机接入前导码对应的随机接入前导码标识符, 随机接入响应接收被认为是不成功的, MAC 实体应该:

——如果没有从低层收到功率攀升挂起通知:

- 将 `PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER` 增加 1;

——如果 `PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER = preambleTransMax-CE+1`:

- 如果随机接入前导码在特定小区上传输:

——向上层指示随机接入问题;

——认为随机接入过程失败;

——如果在这个随机接入过程中, 随机接入前导码被 MAC 选择:

- 基于退避参数, 根据 0 和退避参数值之间的均匀分布来选择随机退避时间;
- 通过退避时间延迟随后的随机接入传输;

——将 `PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER_CE` 增加 1;

——对相应的增强覆盖级别增加 1, 如果 `PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER_CE = max-NumPreambleAttemptCE`;

- 复位 `PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER_CE`;
- 如果服务小区和 UE 支持, 则进入下一个增强覆盖级别, 否则停留在当前的增强覆盖级别;
- 如果随机接入过程由 PDCCH 指令发起:
 - 选择与所选择的增强覆盖级别对应的 PRACH 资源;
 - 将所选择的 PRACH 资源视为显式指示的;

——继续选择一个随机接入资源(见 5.2.1.2)。

5.2.1.5 竞争解决

竞争解决基于特定小区的 PDCCH 上的 C-RNTI 或者 DL-SCH 上的 UE 竞争解决标识来进行。

一旦发送 Msg3, MAC 实体应该执行如下操作:

- 启动 mac-ContentionResolutionTimer, 并在包含对应 PUSCH 传输的最后一次重复的子帧中每次进行 HARQ 重传时重新启动 mac-ContentionResolutionTimer。
- 监听 PDCCH 直到 mac-ContentionResolutionTimer 超时或停止。
- 如果从低层接收到 PDCCH 传输已接收的通知, 则 MAC 实体应当:
 - 如果 C-RNTI MAC 控制单元包含在 Msg3 中:
 - 如果随机接入过程由 MAC 层本身或由 RRC 子层发起, 并且 PDCCH 传输由 C-RNTI 寻址并且包含用于新的传输的上行链路授权, 或
 - 如果随机接入过程由 PDCCH 指令发起并且 PDCCH 传输由 C-RNTI 寻址:
 - 认为该竞争解决成功;
 - 停止 mac-ContentionResolutionTimer;
 - 丢弃临时 C-RNTI;
 - 认为该随机接入过程已成功完成。
 - 否则如果 CCCH SDU 被包括在 Msg3 中并且 PDCCH 传输由临时 C-RNTI 寻址:
 - 如果 MAC PDU 被成功解码:
 - 停止 mac-ContentionResolutionTimer;
 - 如果 MAC PDU 包含 UE 竞争解决标识 MAC 控制单元; 且
 - 如果包含在 MAC 控制单元中的 UE 竞争解决标识与在 Msg3 中发送的 CCCH SDU 的前 48 比特匹配:
 - 考虑该竞争解决成功, 并完成 MAC PDU 的反汇编和解复用;
 - 将 C-RNTI 设置为临时 C-RNTI 的值;
 - 丢弃临时 C-RNTI;
 - 考虑该随机接入过程已成功完成;
 - 否则丢弃临时 C-RNTI;
 - 认为竞争解决失败, 并丢弃成功解码的 MAC PDU。
- 如果 mac-ContentionResolutionTimer 超时:
 - 丢弃临时 C-RNTI;
 - 认为竞争解决失败。
- 如果竞争解决失败, MAC 实体应执行如下操作:
 - 清除 Msg3 缓存中用于传输 MAC PDU 的 HARQ 缓存;
 - 如果未收到底层的功率攀升挂起通知:
 - 将 PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER 增加 1;
 - 如果 PREAMBLE_TRANSMISSION_COUNTER = preambleTransMax-CE+1:
 - 向上层指示一个随机接入问题;
 - 考虑随机接入过程未成功完成;
 - 基于退避参数, 根据 0 和退避参数值之间的均匀分布选择随机退避时间;
 - 根据退避时间延迟随后的随机接入传输;
 - 继续选择一个随机接入资源(见 5.2.1.2)。

5.2.1.6 随机接入过程完成

随机接入过程完成时, MAC 实体将清除 Msg3 缓存中用于传输 MAC PDU 的 HARQ 缓存。

5.2.2 上行同步的维护

MAC 实体应为每个 TAG 配置定时器 `timeAlignmentTimer`, 用于控制 MAC 实体在规定时间内与该 TAG 相关服务小区的上行时间对齐。

MAC 实体按照如下方式操作:

- 当收到时间提前命令 MAC 控制单元且针对指示的 TAG, N_{TA} 已经被存储或维护时:
 - 将时间提前命令应用于指定的 TAG;
 - 启动或重新启动与指定 TAG 相关的 `timeAlignmentTimer` 定时器。
- 当在随机接入响应消息中收到属于 TAG 服务小区的时间提前命令时,
 - 如果随机接入前导码不是由 MAC 实体选择的:
 - 将时间提前命令应用于指定 TAG;
 - 启动或重新启动与指定 TAG 相关的 `timeAlignmentTimer` 定时器;
 - 否则, 如果与该 TAG 相关的 `timeAlignmentTimer` 定时器未启用:
 - 将时间提前命令应用于指定 TAG;
 - 启动或重新启动与指定 TAG 相关的 `timeAlignmentTimer` 定时器;
 - 如果竞争解决未成功(见 5.2.1.5), 停止与该 TAG 相关的 `timeAlignmentTimer` 定时器;
 - 否则, 忽略收到的时间提前命令。
- 当 `timeAlignmentTimer` 定时器超时:
 - 为所有服务小区清空所有 HARQ 缓存区;
 - 清除配置的所有下行链路指配和上行链路授权;
 - 认为所有运行的 `timeAlignmentTimers` 定时器都超时。

当服务小区所归属的 TAG 相关 `timeAlignmentTimer` 定时器未运行时, 除随机接入前导码发送外, MAC 实体在服务小区不进行任何上行传输。

注: 当相关 `timeAlignmentTimer` 定时器超时, MAC 实体存储或维护 N_{TA} , N_{TA} 的定义见 4.4.1.2。当 `timeAlignmentTimers` 定时器未运行时, MAC 实体在收到时间提前命令 MAC 控制单元后, 启动相关的 `timeAlignmentTimers` 定时器。

5.2.3 下行共享信道数据传递

5.2.3.1 下行指配接收

PDCCH 上传输的下行链路指配用于指示 MAC 实体上是否存在下行共享信道传输, 并提供相关的 HARQ 信息。HARQ 信息包含新数据指示符 NDI 和传输块 TB 大小。

当 MAC 实体具有 C-RNTI, 或临时 C-RNTI, 在它监听 PDCCH 时为每个 TTI 以及为每个服务小区, MAC 实体将:

- 如果针对这个 TTI 和这个服务小区的下行链路指配已经在针对这个 MAC 实体的 C-RNTI, 或临时 C-RNTI 的 PDCCH 上接收到:
 - 如果这是这个临时 C-RNTI 的第一个下行链路指配:
 - 认为 NDI 已经翻转。
 - 如果这个下行链路指配是针对这个 MAC 实体的 C-RNTI 的, 且如果指示给这个 HARQ 实体的相同 HARQ 进程的前一个下行链路指配是一个配置的下行链路指配:
 - 无论 NDI 的值为多少, 认为 NDI 已经翻转。
 - 指示存在下行链路指配并将这个 TTI 相关的 HARQ 信息发给 HARQ 实体。
- 否则, 如果服务小区是特定小区, 且针对 TTI 的下行链路指配给特定小区, 且 TTI 未包含测量

间隔:

- 指示物理层在这个 TTI 根据配置的下行链路指配在下行共享信道接收传输块,并将它发给 HARQ 实体。
- 将 HARQ 进程 ID 设置为与这个 TTI 相关联的 HARQ 进程 ID。
- 认为 NDI 比特已经翻转。
- 指示存在配置的下行链路指配,并将存储的 HARQ 信息发给这个 TTI 的 HARQ 实体。

5.2.3.2 HARQ 操作

5.2.3.2.1 HARQ 实体

服务小区的 MAC 实体有一个 HARQ 实体, HARQ 实体维护 HARQ 进程;除了用于广播的 HARQ 进程外(BCCH 信道使用一个专用的 HARQ 进程),只有一个 HARQ 进程。HARQ 实体管理 HARQ 信息以及在与 HARQ 进程对应的 DL-SCH 上收到的相关 TB 块,见 5.2.3.2.2。

参数 DL_REPETITION_NUMBER 是传输绑定中重复传输的数目。对于每个传输绑定, DL_REPETITION_NUMBER 被设置为由低层提供的值。在一个传输绑定内,在初始(重新)传输之后,会接着进行 DL_REPETITION_NUMBER-1 个 HARQ 重传。

HARQ 反馈是针对一个传输绑定进行,且在该传输绑定的最后一次重复之后会收到下一个新重复传输或重传的下行链路指配。MAC 实体按如下操作:

- 如果在该 TTI 收到了下行指配;或者
- 如果该 TTI 是一个传输绑定内的重传:
 - 将从物理层收到的 TB 块和相关联的 HARQ 信息分配给由相关联的 HARQ 信息指示的 HARQ 进程;
- 如果给广播进程指示了下行链路指配:
 - 给广播 HARQ 进程分配接收到的 TB 块。

5.2.3.2.2 HARQ 进程

对于 HARQ 进程中的每个 TTI, HARQ 进程应从 HARQ 实体接收到 TB 块以及相应的 HARQ 信息。

对于接收的每个 TB 块及相应的 HARQ 信息, HARQ 进程应执行如下操作:

- 如果提供的 NDI 值相比前次收到的对于该 TB 的值翻转过;或者
- 如果 HARQ 进程为广播进程,并且根据 RRC 指示的系统信息调度,为此 TB 的第一次传输;或者
- 如果这是此 TB 的第一次传输(即对于该 TB 没有之前的 NDI),则:
 - 认为本次传输是一次新的数据传输;
- 否则:
 - 认为本次传输是一次重传。

然后 MAC 实体应执行如下操作:

- 如果本次为新的数据传输,则:
 - 尝试解码收到的数据;
- 否则,如果本次为重传,则:
 - 如果该 TB 的数据未被成功解码,则将接收到的数据与该 TB 软缓存中当前的数据进行合并,并尝试解码合并后的数据;
- 如果 MAC 实体尝试解码的针对该 TB 的数据被成功解码;或者

——如果该 TB 的数据之前被成功解码：

- 如果 HARQ 进程为广播进程,则将解码的 MAC PDU 递交给高层；
- 否则,如果这是第一次成功解码此 TB 的数据,则将解码的 MAC PDU 递交给拆分和解复用实体；
- 为该 TB 的数据生成 ACK；

——否则：

- 将该 TB 软缓存中的数据替换为 MAC 尝试解码的数据；
- 为该 TB 的数据生成 NACK；

——如果该 HARQ 进程与一个由临时 C-RNTI 指示的传输关联,且竞争解决尚未成功(见 5.2.1.5)；或者

——如果 HARQ 进程为广播进程；或者

——如果与 HARQ 反馈在其上传输的服务小区的 TAG 相关联的 timeAlignmentTimer 已被终止或已经超时,则：

- 不向物理层指示 ACK/NACK；

——否则：

- 向物理层指示为该 TB 生成的 ACK/NACK。

在与之前传输的值相比较以确定用 C-RNTI 加扰的 PDCCH 中的 NDI 值是否翻转时,MAC 实体应忽略以临时 C-RNTI 加扰的 PDCCH 上所有下行链路指配中收到的 NDI。

注：如果 MAC 实体收到一个重传,其 TB 长度与针对 TB 指示的最后一个有效 TB 长度不同,UE 所执行的操作根据 UE 的具体实现决定。

5.2.3.3 拆分及解复用

MAC 实体应按照 5.1.1.1 进行 MAC PDU 的拆分及解复用。

5.2.4 上行共享信道数据传递

5.2.4.1 上行授权接收

MAC 获得有效的上行授权后,才可以在上行共享信道传输数据。上行授权可以通过 PDCCH 动态接收,或在随机接入响应中接收。MAC 层应从低层接收 HARQ 信息,信息包含新数据指示符 NDI 和传输块 TB 长度。

如果 MAC 实体具有 C-RNTI 或临时 C-RNTI,为属于一个具有正在运行的 timeAlignmentTimer 定时器的 TAG 的每个服务小区和每个 TTI,以及为每个在这个 TTI 上收到的授权,MAC 实体将执行如下操作：

——如果针对这个 TTI 和这个服务小区的上行授权已经在针对这个 MAC 实体的 C-RNTI,或临时 C-RNTI 的 PDCCH 上接收到；或者

——如果针对这个 TTI 的上行授权通过随机接入响应收到：

- 如果这个上行授权是针对 MAC 实体的 C-RNTI,且如果发送给相同 HARQ 进程的 HARQ 实体的前一个上行授权是一个配置的上行授权,认为对应的 HARQ 进程的 NDI 已经翻转；
- 将上行授权和相关 HARQ 信息发送至 TTI 的 HARQ 实体。

注 1：配置的上行授权周期以 TTI 表示。

注 2：如果 MAC 实体在随机接入响应中收到的上行授权和针对 C-RNTI 的上行授权在同一个上行子帧中,MAC 实体可以选择使用任意授权继续传输。

当配置的上行授权在测量间隔中被指示,且指示在测量间隔中的上行共享信道传输,MAC 实体应处理这个授权但不在上行共享信道上传输。

5.2.4.2 HARQ 操作

5.2.4.2.1 HARQ 实体

MAC 实体应为每个服务小区的上行链路维护一个 HARQ 实体, HARQ 实体维护 HARQ 进程, 每个 UE 对应一个上行 HARQ 进程。

给定 TTI, 如果指示该 TTI 的上行授权, HARQ 实体应为每个传输确定一个 HARQ 进程。HARQ 实体应把从物理层接收到的 HARQ 反馈 ACK/NACK、MCS 和资源信息发送至相应的 HARQ 进程。

在异步 HARQ 操作中, 除 RAR 中的 UL 授权之外, 基于接收到的 UL 授权, HARQ 进程与一个 TTI 相关联。对于使用 RAR 中上行授权的 UL 传输, 使用 HARQ 过程标识符 0。HARQ 反馈不适用于异步上行 HARQ。上行链路 HARQ 操作是异步的。

参数 UL_REPETITION_NUMBER 提供在传输绑定中重复传输的数目。对于每个传输绑定, UL_REPETITION_NUMBER 被设置为由低层提供的值。绑定操作依赖于 HARQ 实体为相同传输绑定内的每个传输调用相同的 HARQ 进程。在一个传输绑定内, HARQ 重传是非自适应的, 并且根据 UL_REPETITION_NUMBER 被触发而不用等待先前传输的反馈。仅在一个传输绑定的最后一次重复之后, 才接收对应于一个传输绑定的新传输或者重传的上行链路授权。一个传输绑定的重传也是一个传输绑定。

随机接入的 Msg3 传输不应于 TTI 绑定。上行重复绑定用于传输 Msg3。

对每个 TTI, HARQ 实体应执行如下操作:

——识别与该 TTI 相关联的 HARQ 进程:

- 如果已经为该 TTI 和 HARQ 进程指示上行链路授权;
 - 如果接收到的上行授权不包含在临时 C-RNTI 标识的 PDCCH 中, 并且如果相关 HARQ 信息中 NDI 相比该 HARQ 进程前一次传输中的值翻转过;或
 - 如果接收到的上行授权在 C-RNTI 标识的 PDCCH 中, 并且该 HARQ 进程的缓存为空;或
 - 如果上行授权在随机接入响应中接收到;
 - 如果 Msg3 缓存中包含 MAC PDU 并且随机接入响应接收到上行授权;
 - 从 Msg3 缓存中获取 MAC PDU 进行传输;
 - 否则;
 - 从复用和组装实体中获取传输的 MAC PDU;
 - 将 MAC PDU、上行授权以及 HARQ 信息传递给指定 HARQ 进程;
 - 通知指定 HARQ 进程触发新的传输。
 - 否则:
 - 将上行授权和冗余版本的 HARQ 信息传递给指定 HARQ 进程;
 - 通知指定 HARQ 进程生成一次自适应重传。
- 否则, 如果该 HARQ 进程的缓存非空:
 - 通知指定 HARQ 进程生成一次非自适应重传。

在与之前传输的值相比较以确定 NDI 值是否翻转时, MAC 实体应忽略临时 C-RNTI 加扰的 PDCCH 上所有上行授权中收到的 NDI。

5.2.4.2.2 HARQ 进程

每个 HARQ 进程与 HARQ 缓存相关。

新数据传输使用 PDCCH 或者随机接入响应中指示的传输资源以及 MCS。自适应重传使用 PDCCH 指示的传输资源以及 MCS。非自适应重传使用与上一次传输尝试相同的传输资源以及 MCS。

当收到数据传输块的 HARQ 反馈时, HARQ 进程应:

——设置 HARQ_FEEDBACK 为收到的数值。

如果 HARQ 实体请求新的数据传输, HARQ 进程应执行如下操作:

——将 MAC 的 PDU 存储在相应的 HARQ 缓存中;

——存储从 HARQ 实体接收到的上行授权;

——按照下面描述生成一次传输。

如果 HARQ 实体请求一次非自适应重传, HARQ 进程应按照后文的描述生成一次传输。

注 1: 当仅收到 HARQ ACK, UE 保留 HARQ 缓存中的数据。

注 2: 当因为与测量间隔碰撞而 UL SCH 不能进行传输时, 不会接收到 HARQ 反馈, 之后进行一次非自适应 HARQ 重传。

当生成一次传输, HARQ 进程应执行如下操作:

——如果 MAC PDU 从 Msg3 的缓存中获得;

——如果当前传输时刻未与测量间隔碰撞, 并且如果是重传的情况, 在当前 TTI, 重传没有和来自 Msg3 缓存的 MAC PDU 传输发生冲突:

- 通知物理层按照存储的具有与 CURRENT_IRV 相应冗余版本的上行授权生成一次传输;
- 将 CURRENT_IRV 加 1。

5.2.4.3 复用和组装

5.2.4.3.1 逻辑信道优先级

当新数据进行传输时, MAC 实体应按照以下过程进行逻辑信道优先级的处理:

——UE 的调度流程应遵守以下原则:

- 如果整个 RLC 的 SDU(或部分传输的 SDU 或重传的 RLC 的 PDU)匹配相关 MAC 实体的剩余资源大小, 则 UE 不对 RLC SDU 进行分段处理;
- 如果 UE 将某逻辑信道 RLC 的 SDU 进行分段, 应尽可能将分段的长度最大化以填满相关 MAC 实体的上行授权;
- 如果 MAC 实体即将传输数据时, 且给予大于或等于 4 个字节的上行授权, MAC 实体不应仅传输填充 BSR 和/或填充(除非上行授权的长度小于 7 个字节且有一个 AMD PDU 需要被传输)。

对于已被挂起的上行无线承载逻辑信道, MAC 实体将不会进行数据传输。

对于逻辑信道优先级的处理过程, MAC 实体应按照降序考虑下列相关的优先级:

——C-RNTI 的 MAC 控制单元;

——DPR 的 MAC 控制单元;

——除填充 BSR 以外的 BSR MAC 控制单元;

——除 UL 的 CCCH 以外的其他逻辑信道数据;

——填充 BSR MAC 控制单元。

5.2.4.3.2 MAC 控制单元和 MAC SDU 的复用

MAC 实体应按照 5.2.4.3.1 和 5.1.1.2 在同一 MAC PDU 中将 MAC 控制单元和 MAC SDU 复用。

5.2.4.4 调度请求 SR

调度请求 SR 用于 UL 进行新数据传输的 SCH 资源申请。

一旦 SR 被触发,在其被取消之前均认为是未决调度请求。当 MAC PDU 被组装并且此 PDU 包含 BSR,且该 BSR 中包含到最近一个触发 BSR 的事件为止的缓存状态(见 5.2.4.5),或者当上行授权能够容纳所有未决的待传数据,则取消所有未决的调度请求,并停止 SR 禁止定时器 sr-ProhibitTimer。

如果 SR 被触发,并且当前不存在其他未决 SR,UE 将 SR_COUNTER 设置为 0。

如果存在未决 SR,对于 TTI,MAC 实体应遵循如下要求执行操作:

——如果当前 TTI 缺少可用 UL 的 SCH 资源:

- 如果 MAC 实体在任何 TTI 均未配置非竞争随机接入资源用于 SR:
 - 发起随机接入过程(见 5.2.1)并取消全部未决 SR;
- 否则,如果 UE 在当前 TTI 至少配置一个可用非竞争随机接入资源用于 SR,且如果 TTI 不是测量间隔的一部分,且 SR 禁止定时器 sr-ProhibitTimer 运行:
 - 如果 $SR_COUNTER < dsr-TransMax$:
 - 将 SR_COUNTER 加 1;
 - 通知物理层实体在可用于非竞争随机接入资源发送 SR;
 - 启动 sr-ProhibitTimer。

——否则:

- 通知 RRC 释放所有服务小区中可用于 SR 的非竞争随机接入资源;
- 清除任何配置的下行指配和上行授权;
- 发起随机接入过程(见 5.2.1)并取消全部未决的 SR。

5.2.4.5 缓存状态报告

缓存状态报告用于向服务 eNB 提供与 MAC 实体相关联的上行缓存中待传输的可用数据总量信息。RRC 通过配置 periodicBSR-Timer、retxBSR-Timer 以及 logicalChannelSR-ProhibitTimer 三个定时器,实现每个逻辑信道可选指示的逻辑信道组 logicalChannelGroup,即为逻辑信道分配 LCG 控制 BSR 的上报过程。

对于缓存状态报告,MAC 实体应考虑所有未被挂起的无线承载,也可考虑已经被挂起的无线承载。不支持长 BSR 且所有的逻辑信道属于同一个 LCG。

当以下任一条件成立时,应触发缓存状态报告的发送:

- 对于属于某个 LCG 的逻辑信道,如果 RLC 实体或 PDCP 实体中存在传输的上行数据,并且该逻辑信道的优先级高于目前任何逻辑信道组中逻辑信道的优先级且已有可用的待传输数据,或者目前逻辑信道组中所有逻辑信道均无可传数据,则 BSR 为常规 BSR;
- 如果上行资源已分配,并且填充比特数大于等于 BSR MAC 控制单元与其 MAC 子头的比特数之和,则 BSR 为填充 BSR;
- 如果 retxBSR-Timer 超时并且 MAC 实体的逻辑信道组中任意逻辑信道有可用的待传输数据,则 BSR 为常规 BSR;
- 如果 periodicBSR-Timer 超时,则 BSR 为周期 BSR。

对于常规 BSR:

- 如果高层配置 logicalChannelSR-ProhibitTimer 的逻辑信道上存在有可用的待传输数据并触发 BSR:
 - 启动或重启 logicalChannelSR-ProhibitTimer;
- 否则:
 - 上报短 BSR;
 - 如果启动定时器,则关闭 logicalChannelSR-ProhibitTimer。

对于填充 BSR:

——如果填充比特数大于或等于短 BSR 与其 MAC 子头的比特数之和时：

- 上报短 BSR。

如果缓存状态报告确定至少触发 BSR 且未被取消时：

——如果 MAC 实体已获得 TTI 新数据传输的上行资源：

- 通知复用和组装实体产生 BSR MAC 控制单元；
- 当所有生成 BSR 都是短 BSR 外,启动或重启 periodicBSR-Timer；
- 启动或重启 retxBSR-Timer。

——否则,如果触发了常规 BSR 且 logicalChannelSR-Prohibit 定时器未运行：

- 如果未配置上行授权：

——触发调度请求。

每个 MAC PDU 最多只能包含一个 BSR MAC 控制单元,尽管多个事件均可触发 BSR,常规 BSR 和周期 BSR 优先于填充 BSR。

一旦任何 UL 的 SCH 收到传输新数据的授权后,MAC 实体应重启 retxBSR-Timer。

当 TTI 的上行授权可供全部待传的传输数据使用,但不足以额外传输 BSR MAC 控制单元及其 MAC 子头比特总和时,所有已触发的 BSR 将被取消。当传输的 MAC PDU 中已经包含 BSR,所有已触发的 BSR 也将被取消。

MAC 实体中每个 TTI 最多传输一个常规 BSR/周期 BSR。如果 MAC 实体在 TTI 传输多个 MAC PDU,可以在不包含常规/周期 BSR 的任意 MAC PDU 中包含填充 BSR。

所有 TTI 传输的 BSR 可反映在所有 MAC PDU 已经在该 TTI 构造完成之后的缓冲区状态。每个 LCG 应在每个 TTI 最多上报一个缓冲区状态值,且该值应在 LCG 用于上报缓冲区状态的所有 BSR 中被上报。

注：填充 BSR 允许取消触发的常规/定期 BSR。填充 BSR 仅被特定的 MAC PDU 触发,且当 MAC PDU 构造完成后,触发取消。

5.2.4.6 数据量和功率余量报告

数据量和功率余量报告用于向服务 eNB 提供关于与 MAC 实体相关联的 UL 缓存中可用于传输的数据量信息,并且向服务 eNB 提供关于服务小区的标称 UE 最大传输功率与 UL 的 SCH 传输的估计传输功率之间的差异信息。数据量和功率余量报告通过 DPR MAC 控制单元完成发送,可以在 Msg3 中与 CCCH SDU 同时发送,也可以在调度请求后发送。

5.2.5 PCH 接收

当 MAC 实体需要接收 PCH 时,MAC 实体应：

——如果已经从 P-RNTI 加扰的 PDCCH 收到一个 PCH 指配：

- 解码 PDCCH 信息指示的 PCH 上传输的 TB 块。

——如果 PCH 上的 TB 块已经被成功解码：

- 将解码后的 MAC PDU 传给高层。

5.2.6 BCH 接收

当 MAC 实体需要接收 BCH 时,MAC 实体应：

——接收并且解码 BCH。

——如果 BCH 上的 TB 块被成功解码：

- 将解码后的 MAC PDU 传给高层。

5.2.7 非连续接收 DRX

MAC 实体可由具有 DRX 功能的 RRC 配置,其可用于控制 C-RNTI 中 UE PDCCH 的监控活动。

当处于 RRC_CONNECTED 状态时,如果配置 DRX,则允许 MAC 实体使用本小节的 DRX 操作不连续地监听 PDCCH;否则 MAC 实体连续监听 PDCCH。在 DRX 操作期间,MAC 实体应按照本标准其他章节监听 PDCCH。

RRC 通过配置定时器 onDurationTimer,drx-InactivityTimer,drx-RetransmissionTimer(用于除广播之外的每个 DL HARQ 进程),drx-ULRetransmissionTimer(用于每个异步 UL HARQ 进程),long-DRX-Cycle 和 drxStartOffset 来控制 DRX 操作。此外,应为每个 DL HARQ 过程(除广播过程之外)定义 HARQ RTT 定时器和每个异步 UL HARQ 过程定义 UL HARQ RTT 定时器(见 5.3.3)。

当配置 DRX 周期时,活动时间应包含以下时间:

- 定时器 onDurationTimer 或 drx-InactivityTimer 或 drx-RetransmissionTimer 或 drx-ULRetransmissionTimer 或 mac-ContentionResolutionTimer(如 5.2.1.5 所述)正在运行;或
- 成功接收到对于针对非 MAC 实体选择的前导码的随机接入响应之后,尚未接收到指示寻址到 MAC 实体的 C-RNTI 的新传输的 PDCCH(如 5.2.1.4 中描述)。

当配置 DRX 时,MAC 实体中每个子帧应符合如下要求:

- 如果 HARQ RTT 定时器在此子帧中到期:
 - 如果相应 HARQ 进程的数据未被成功解码:
 - 为相应的 HARQ 过程启动 drx-RetransmissionTimer;
 - 否则,启动或重新启动 drx-InactivityTimer。
- 如果 UL 的 HARQ RTT 定时器在此子帧中到期:
 - 为相应 HARQ 进程启动 drx-ULRetransmissionTimer;
 - 并启动或重新启动 drx-InactivityTimer。
- 如果接收到 DRX 命令 MAC 控制单元:
 - 停止 onDurationTimer;
 - 停止 drx-InactivityTimer。
- 如果 drx-InactivityTimer 超时或在此子帧中接收到 DRX 命令的 MAC 控制单元:
 - 使用长 DRX 周期。
- 如果使用长 DRX 周期并且 $[(SFN * 10) + \text{子帧号}] \bmod (\text{longDRX-Cycle}) = \text{drxStartOffset}$:
 - 如果 HARQ RTT 定时器和 UL HARQ RTT 定时器均未启动,则启动 onDurationTimer。
- 在活动时间期间,对于 PDCCH 子帧,对于半双工 FDD 模式 UE 操作,上行链路传输不包括该子帧,并且如果该子帧不是配置的测量间隙一部分,并且如果所述子帧不是用于除 PDCCH 上的上行链路传输或下行链路接收。
 - 监听 PDCCH;
 - 如果 PDCCH 指示 DL 传输或者如果已经为该子帧配置 DL 指示:
 - 在包含对应 PDSCH 接收的最后一次重复子帧中,启动用于相应 HARQ 进程的 HARQ RTT 定时器;
 - 停止相应 HARQ 进程的 drx-RetransmissionTimer。
 - 如果 PDCCH 指示用于异步 HARQ 进程的 UL 传输,或者如果针对该子帧已经针对异步 HARQ 进程配置了 UL 授权:
 - 在包含对应的 PUSCH 传输的最后一次重复子帧中,启动用于对应 HARQ 过程的 UL HARQ RTT 定时器;
 - 如果 PDCCH 指示用于数据传输:

——停止 drx-InactivityTimer, drx-ULRetransmissionTimer, drx-RetransmissionTimer 和 onDurationTimer。

无论 MAC 实体是否在监控 PDCCH, MAC 实体应接收或发送 HARQ 反馈。

当 UE 接收到 PDCCH 时, UE 在包含 PDCCH 接收的最后一次重复子帧之后的所有子帧中执行本节指定的对应动作, 其中子帧由起始子帧和 PDCCH 中 DCI 子帧重复次数字段共同确定, 除非另有明确说明。

5.2.8 MAC 重配置

当高层请求重配置 MAC 实体, MAC 实体应:

- 在定时器启动或重启时, 采用新配置的数值;
- 在计数器初始化时, 采用新的最大参数值;
- 对于其他参数, 立即采用从高层获得的配置信息。

5.2.9 MAC 重置

当高层请求重置 MAC 实体, MAC 实体应:

- 如果启动定时器, 停止全部定时器;
- 认为所有 timeAlignmentTimer 超时并且执行 5.2.2 的相关操作;
- 设置所有上行 HARQ 进程的 NDI 为 0;
- 如果存在 RACH 流程, 则停止正在进行的 RACH 流程;
- 如果存在显式指示的 ra-PreambleIndex, 将其丢弃;
- 清空 Msg3 缓存;
- 如果存在触发的调度请求过程, 将其取消;
- 如果存在触发的缓存状态报告过程, 将其取消;
- 清空所有下行 HARQ 进程的缓存;
- 对每个下行 HARQ 进程, 均认为下一个接收到的 TB 为第一个数据传输;
- 如果包含临时 C-RNTI, 释放临时 C-RNTI。

5.2.10 异常处理

当 MAC 实体收到由 C-RNTI 标识或由配置下行标识的 MAC PDU, 且包含保留值或无效值, MAC 实体应丢弃收到的 MAC PDU。

5.3 变量和常量

5.3.1 RNTI 值

RNTI 值如表 63 所示, 用法及相关的传输信道和逻辑信道见表 64。

表 63 RNTI 值

取值(16 进制)	RNTI
0000	不适用
0001~0960	RA-RNTI/C-RNTI/临时 C-RNTI
0961~FFF3	C-RNTI/临时 C-RNTI
FFF4~FFF9	保留

表 63（续）

取值(16 进制)	RNTI
FFFE	P-RNTI
FFFF	SI-RNTI
注：每个 MAC 实体在所有服务小区上使用相同 C-RNTI。	

表 64 RNTI 用法

RNTI	用法	传输信道	逻辑信道
P-RNTI	寻呼和系统消息变更指示	PCH	PCCH
SI-RNTI	系统消息广播	DL-SCH	BCCH/BR-BCCH
RA-RNTI	随机接入响应	DL-SCH	无
临时 C-RNTI	竞争解决(当没有有效的 C-RNTI 时)	DL-SCH	CCCH,DCCH
临时 C-RNTI	Msg3 传输	UL-SCH	CCCH/DCCH/DTCH
C-RNTI	动态调度地单播传输	UL-SCH	DCCH/DTCH
C-RNTI	动态调度地单播传输	DL-SCH	CCCH/DCCH/DTCH
C-RNTI	PDCCH 指示的随机接入触发	不适用	不适用

5.3.2 退避参数值

退避参数值如表 65 所示。

表 65 退避参数取值

索引	退避参数值 ms
0	0
1	256
2	512
3	1 024
4	2 048
5	4 096
6	8 192
7	16 384
8	32 768
9	65 536
10	131 072
11	262 144
12	524 288

表 65 (续)

索引	退避参数值 ms
13	预留
14	预留
15	预留

如果当前版本 UE 收到保留值,则退避参数的取值为 524 288 ms。

5.3.3 HARQ RTT 定时器

HARQ RTT 定时器长度设置为 $k+3+N+\text{deltaPDCCH}$ 子帧,其中 k 是下行链路传输的最后一个子帧和相关 HARQ 反馈传输的第一个子帧之间的间隙, N 是相关联的 HARQ 反馈子帧, deltaPDCCH 是从相关 HARQ 反馈传输的最后一个子帧加上 3 个子帧到下一个 PDCCH 发送的第一个子帧之间的间隙。

UL 的 HARQ RTT 定时器长度被设置为 $4+\text{deltaPDCCH}$ 子帧,其中 deltaPDCCH 是从 PUSCH 传输的最后一个子帧加上 4 个子帧到下一个 PDCCH 发送的第一个子帧之间的间隙。

5.3.4 DL_REPETITION_NUMBER 值

DL_REPETITION_NUMBER 参数值从低层接收并与重复等级相对应。

5.3.5 UL_REPETITION_NUMBER 值

UL_REPETITION_NUMBER 参数值从低层接收并与重复等级相对应。



参 考 文 献

- [1] 3GPP TS 36.211 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation
 - [2] 3GPP TS 36.212 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding
 - [3] 3GPP TS 36.213 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures
 - [4] 3GPP TS 36.321 Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification
-

