

5G NR 下行同步过程研究

Research on Downlink Synchronization Process of 5G NR

张建国¹, 黄正彬², 周鹏云¹ (1. 华信咨询设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310014; 2. 中国移动通信集团广西有限公司玉林分公司, 广西 玉林 537000)

Zhang Jianguo¹, Huang Zhengbin², Zhou Pengyun¹ (1. Huaxin Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310014, China; 2. China Mobile Group Guangxi Co., Ltd. Yulin Branch, Yulin 537000, China)

摘要:

首先介绍了5G NR SS/PBCH块的结构和候选SS/PBCH块的时间位置,每个SS/PBCH块在频域上由240个连续的子载波、在时域上由4个OFDM符号组成,根据SS/PBCH块子载波间隔的不同,候选SS/PBCH块的时间位置共有5种Case。然后分析了5G NR的下行同步过程,包括搜索同步信号、解码PBCH、解码SIB1和其他SI。最后给出了下行同步过程的参数配置建议,建议根据基站类型、小区类型设置SS/PBCH块的数量,根据基站类型、服务需求设置SS/PBCH周期,PCI设置应避免MOD 4干扰。

Abstract:

Firstly, it introduces the structure of SS/PBCH block and the time location of candidate SS/PBCH blocks. An SS/PBCH block consists of 240 contiguous subcarriers in the frequency domain and 4 OFDM symbols in the time domain. There are 5 cases for the time location of candidate SS/PBCH blocks according to the subcarrier spacing of SS/PBCH blocks. Secondly, it analyzes the downlink synchronization process of 5G NR which includes searching synchronization signals, decoding PBCH, decoding SIB1 and other SI. Finally, it gives the suggestion of parameters configuration for synchronization process. It suggests that the number of SS/PBCH blocks should be configured according to the base station types and cell types, and the periodicity of SS/PBCH blocks should be configured according to the base station types and service requirements, PCI configuration should avoid the MOD 4 interference.

Keywords:

5G NR; SS/PBCH block; Downlink synchronization process; PCI; PSS; SSS

关键词:

5G NR; SS/PBCH块; 下行同步过程; PCI; PSS; SSS

doi: 10.12045/j.issn.1007-3043.2019.03.005

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

文章编号: 1007-3043(2019)03-0022-05

引用格式: 张建国, 黄正彬, 周鹏云. 5G NR 下行同步过程研究[J]. 邮电设计技术, 2019(3): 22-26.

0 引言

5G NR 的下行同步与 LTE 类似, 也是通过搜索 PSS/SSS、解码 PBCH 和 PDSCH 来实现的, 主要目的是获得 OFDM 符号的时间同步、无线帧同步、频率同步, 同时还可以获取 PCI、系统消息等信息^[1]。

当 5G NR 部署在高频段时, 基站必须使用 massive MIMO 天线以增强覆盖, 但是 massive MIMO 天线的辐射图是非常窄的波束(Beam), 单个波束难以覆盖

整个小区, 需要通过波束扫描(Beam Sweeping)的方式覆盖整个小区, 即在某一个时刻, 基站发射窄的波束覆盖某个特定方向, 在下一个时刻基站小幅改变波束方向, 覆盖另外一个特定方向, 直至扫描整个小区。在每个波束中, 都要配置 PSS/SSS 以及 PBCH 以便 UE 实现下行同步, PSS/SSS 以及 PBCH 简称 SS/PBCH 块(SSB——SS/PBCH Block)。

本文接下来分析 SS/PBCH 块的结构和候选 SS/PBCH 块的时间位置、5G NR 下行同步过程以及参数配置, 本文的下行同步过程包含了解码系统消息的过程。

收稿日期: 2019-02-12

1 SS/PBCH 块的结构

每个 SS/PBCH 块在频域上由 240 个连续的子载波 (20 个 RB) 组成, 子载波在 SS/PBCH 块内按照升序从 0 到 239 进行编号, 在时域上由 4 个 OFDM 符号组成, OFDM 符号在 SS/PBCH 块内按照升序从 0 到 3 进行编号, SS/PBCH 块的结构如图 1 所示^[2]。

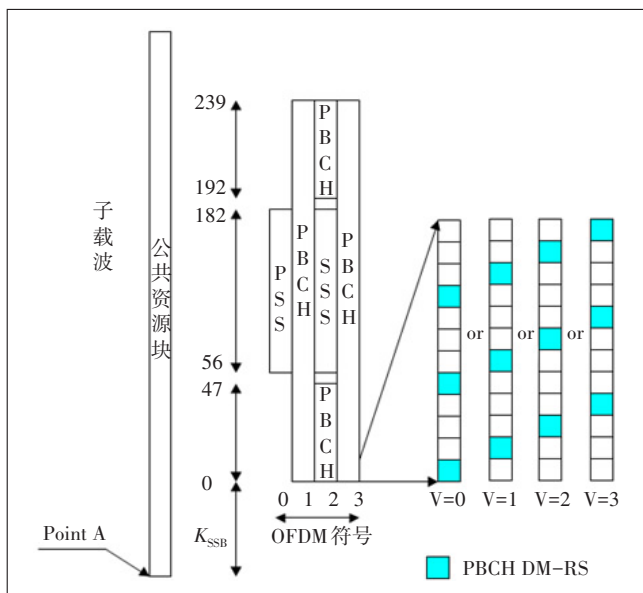


图 1 SS/PBCH 块

与 LTE 的 PSS/SSS 以及 PBCH 在系统带宽的中心不同, 5G NR 的 SS/PBCH 块在系统带宽的底部, SS/PBCH 块的子载波 0 与公共资源块的子载波 0 (即 Point A) 之间相差 k_{SSB} 个子载波。当 5G NR 部署在 FR1 (450~6 000 MHz) 时, SS/PBCH 块的子载波间隔是 15 kHz 或 30 kHz, 占用的带宽是 3.6 MHz 或 7.2 MHz, $k_{SSB} \in \{0, 1, 2, \dots, 23\}$, k_{SSB} 的单位是 15 kHz; 当 5G NR 部署在 FR2 (24 250~52 600 MHz) 时, SS/PBCH 块的子载波间隔是 120 kHz 或 240 kHz, 占用的带宽是 28.8 MHz 或 57.6 MHz, $k_{SSB} \in \{0, 1, 2, \dots, 11\}$, 其单位为 60 kHz^[3-4]。

PSS 在 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号上, 占用 SS/PBCH 块中间的 127 个子载波, 两边分别有 56、57 个子载波不发射任何信号, 该设计使 PSS 与其他信号之间有较大的频率隔离, 便于 UE 把 PSS 与其他信号区分出来。PSS 序列有 3 种取值, 与物理层小区标识组内的物理层标识 $N_{ID}^{(2)} \in \{0, 1, 2\}$ 有一对一的映射关系。

SSS 在 SS/PBCH 块的第 3 个 OFDM 符号上, 也是占用 SS/PBCH 块中间的 127 个子载波, 两边分别有 8、9 个子载波不发射任何信号, 该设计既充分利用了第 3

个 OFDM 符号上的资源, 又便于 UE 把 SSS 与 PBCH 区分出来。SSS 序列有 336 种取值, 与物理层小区标识组 $N_{ID}^{(1)} \in \{0, 1, \dots, 335\}$ 有一对一的映射关系^[4]。

5G NR 共有 $336 \times 3 = 1\,008$ 个 PCI, PCI 根据式 (1) 计算。

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \quad (1)$$

PBCH 在 SS/PBCH 块的第 2~4 个 OFDM 符号上, 其中第 2 和第 4 个 OFDM 符号上分别有 240 个子载波, 第 3 个 OFDM 符号上有 96 个子载波, PBCH 共计有 576 个子载波。PBCH 上传输 MIB (Master Information Block) 消息, 采用 QPSK 调制, 信道编码方式采用 Polar 码^[2]。

PBCH 的每个 RB 上有 3 个解调参考信号 (DM-RS——Demodulation reference signal), 因此 DM-RS 有 4 个频域偏移, 同频邻区设置不同的频域偏移有利于降低导频干扰, 频域偏移由式 (2) 计算。

$$v = N_{ID}^{cell} \bmod 4 \quad (2)$$

用于 PBCH 的 DM-RS 序列 $r(m)$ 由式 (3) 定义。

$$r(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m + 1)) \quad (3)$$

DM-RS 的扰码序列发生器在每个 SS/PBCH 块都要根据 N_{ID}^{cell} 、 n_{hf} 和 i_{SSB} 被初始化, 初始化种子由式 (4) 定义。

$$c_{init} = 2^{11}(\bar{i}_{SSB} + 1) \left(\left\lfloor \frac{N_{ID}^{cell}}{4} \right\rfloor + 1 \right) + 2^6(\bar{i}_{SSB} + 1) + (N_{ID}^{cell} \bmod 4) \quad (4)$$

其中, $\bar{i}_{SSB} = i_{SSB} + 4n_{hf}$ 。 n_{hf} 是 PBCH 所在的半帧编号, i_{SSB} 是 SS/PBCH 块指示的编号。对于 $L_{max} = 4$, i_{SSB} 是 SS/PBCH 块指示的 2 bit 位, 如果 PBCH 在某个无线帧的第 1 个半帧, 则 $n_{hf} = 0$, 如果 PBCH 在某个无线帧的第 2 个半帧, 则 $n_{hf} = 1$; 对于 $L_{max} = 8$ 或 $L_{max} = 64$, i_{SSB} 是 SS/PBCH 块指示的 3 个最低 bit 位, $n_{hf} = 0$ 。 L_{max} 是半帧 (5 ms) 内 SS/PBCH 块的最大数量^[4]。

2 候选 SS/PBCH 块的时间位置

与 LTE 的 SSS/PSS 以及 PBCH 的固定周期不同, 5G NR 的 SS/PBCH 块的周期是可变的, 可以配置为 5、10、20、40、80 和 160 ms^[5], 在每个周期内, SS/PBCH 块只在某个半帧 (5 ms) 上传输。根据 SS/PBCH 块的子载波间隔的不同, 候选 SS/PBCH 块的时间位置有 A、B、C、D、E 5 种 Case, 每种 Case 的结构如下^[6]。

Case A: SS/PBCH 块的子载波间隔是 15 kHz, 候选的 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号位置指示是 {2, 8} +

$14 \times n$, 对于载波频率小于或者等于 3 GHz, $n=0, 1$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0, 1 上传输, 共有 4 个候选位置 ($L_{\max} = 4$); 对于载波频率大于 3 GHz 且小于或等

于 6 GHz, $n=0, 1, 2, 3$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0, 1, 2, 3 上传输, 共有 8 个候选位置 ($L_{\max} = 8$)。Case A 如图 2 所示。

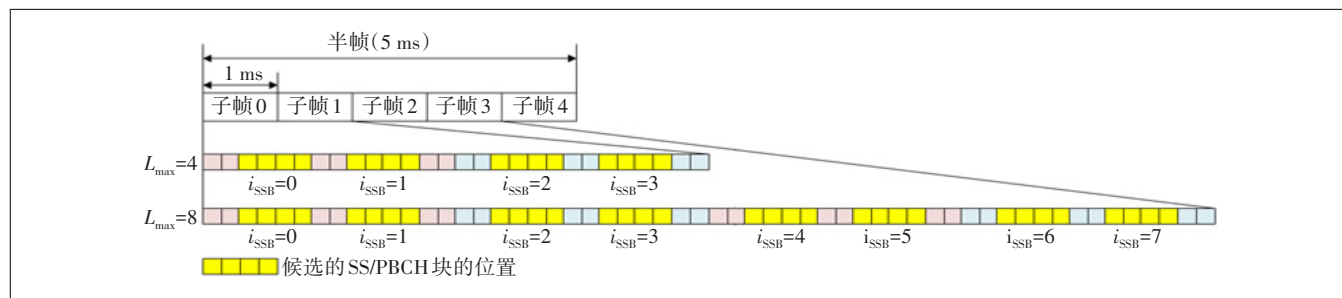


图 2 Case A

Case B: SS/PBCH 的子载波间隔是 30 kHz, 候选的 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号位置指示是 $\{4, 8, 16, 20\} + 28 \times n$, 对于载波频率小于或者等于 3 GHz, $n=0, 1$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0 上传输, 共有 4 个候选

位置 ($L_{\max} = 4$); 对于载波频率大于 3 GHz 且小于或等于 6 GHz, $n=0, 1$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0, 1 上传输, 共有 8 个候选位置 ($L_{\max} = 8$)。Case B 如图 3 所示。

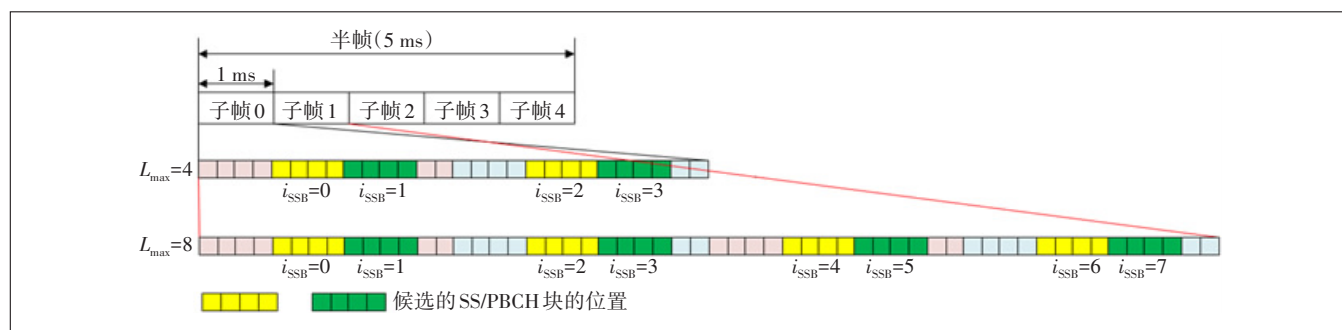


图 3 Case B

Case C: SS/PBCH 的子载波间隔是 30 kHz, 候选的 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号位置指示是 $\{2, 8\} + 14 \times n$, 对于载波频率小于或者等于 3 GHz, $n=0, 1$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0 上传输, 共有 4 个候选位置 ($L_{\max} = 4$); 对于载波频率大于 3 GHz 且小于或等于 6 GHz, $n=0, 1, 2, 3$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0, 1 上传输, 共有 8 个候选位置 ($L_{\max} = 8$)。Case C 如图 4 所示。

的 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号位置指示是 $\{4, 8, 16, 20\} + 28 \times n$, 对于载波频率大于 6 GHz, $n=0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18$, SS/PBCH 块在某个半帧的子帧 0, 1, 2, 3, 4 上传输, 共有 64 个候选位置 ($L_{\max} = 64$)。

Case D: SS/PBCH 的子载波间隔是 120 kHz, 候

选 Case E: SS/PBCH 的子载波间隔是 240 kHz, 候选的 SS/PBCH 块的第 1 个 OFDM 符号位置指示是 $\{8, 12, 16, 20, 32, 36, 40, 44\} + 56 \times n$, 对于载波频率大于 6 GHz, $n=0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8$, SS/PBCH 块在某个半帧

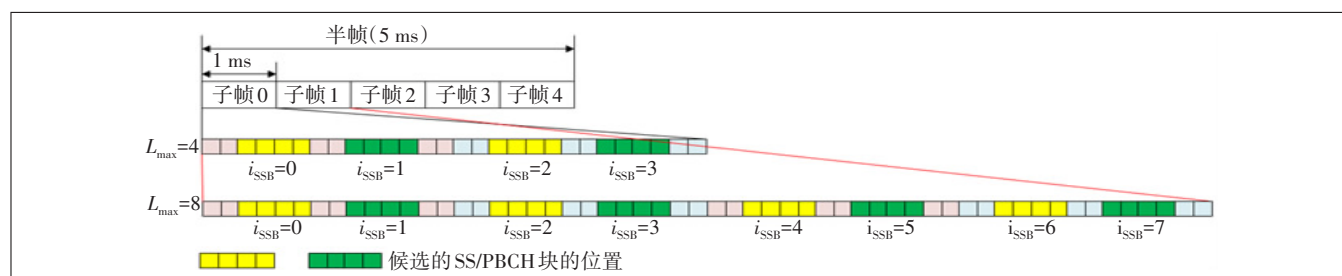


图 4 Case C

的子帧0,1,2上传输,共有64个候选位置($L_{\max} = 64$)。

候选SS/PBCH块的时间位置见表1。

表1 候选SS/PBCH块的时间位置

Case	子载波间隔/kHz	候选SS/PBCH块的第1个OFDM符号位置指示	$f \leq 3$ GHz		$3 \text{ GHz} < f \leq 6$ GHz		$f > 6$ GHz	
			n	L_{\max}	n	L_{\max}	n	L_{\max}
A	15	$\{2, 8\} + 14 \times n$	0, 1	4	0, 1, 2, 3	8		
B	30	$\{4, 8, 16, 20\} + 28 \times n$	0	4	0, 1	8		
C	30	$\{2, 8\} + 14 \times n$	0, 1	4	0, 1, 2, 3	8		
D	120	$\{4, 8, 16, 20\} + 28 \times n$					0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18	64
E	240	$\{8, 12, 16, 20, 32, 36, 40, 44\} + 56 \times n$					0, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8	64

3 5G NR 下行同步过程

5G NR 的下行同步过程如图5所示,主要包括以下几个步骤^[5-6]。

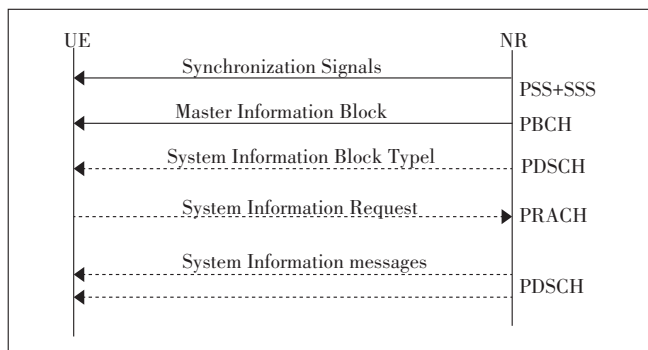


图5 5G NR 下行同步过程

a) 搜索PSS: UE搜索到PSS后可以确定OFDM符号的起始位置,实现OFDM符号的时间同步和SS/PBCH块的同步,通过盲解码的方式确定 $N_{\text{ID}}^{(2)}$ 。

b) 搜索SSS: UE根据PSS的位置,可以确定SSS的位置,通过盲解码的方式确定 $N_{\text{ID}}^{(1)}$,根据式(1),UE可以计算出 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 。

c) 接收DM-RS: UE获得 $N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$ 后,根据式(2)可以确定PBCH的DM-RS在SS/PBCH块上的频域位置,通过盲解码的方式,UE可以确定 i_{SSB} 的全部或者部分信息。对于 $L_{\max} = 4$,本步骤完成后,可以得到完整的 i_{SSB} (2 bit)信息和半帧信息,实现了半帧同步,同时确定了无线帧的起始位置,但是不能确定系统帧号(SFN);对于 $L_{\max} = 8$,本步骤完成后,可以得到完整的 i_{SSB} (3 bit)信息,实现了半帧同步,但是不能确定是无线帧的第1个半帧还是第2个半帧,也不能确定系统帧号;对于 $L_{\max} = 64$,可以得到 i_{SSB} 的3个最低bit位,半帧同步、无线帧的起始位置和系统帧号都不能确定。

d) 解码PBCH: UE利用DM-RS进行信道估计,解码PBCH,获得MIB, MIB包括系统帧号、半帧信息、 i_{SSB}

的3个最高bit位(对于 $L_{\max} = 64$)、SSB子载波偏移 k_{SSB} 。本步骤完成后,对于 $L_{\max} = 4$,获得了完整的系统帧号,实现了帧同步;对于 $L_{\max} = 8$,获得了半帧信息和完整的系统帧号,实现了帧同步;对于 $L_{\max} = 64$,获得了完整的 i_{SSB} 、半帧信息和完整的系统帧号,实现了半帧同步以及帧同步。根据 k_{SSB} ,UE可以确定公共资源块的子载波0即Point A的位置,实现了频率同步。另外,MIB中还包括用于SIB1(System Information Block Type1)以及Msg2、Msg4传输的子载波间隔(6 GHz以下使用15 kHz或30 kHz、6 GHz以上使用60 kHz或120 kHz)、DM-RS Type A的位置、pdccch-ConfigSIB1(决定CORESET的RB数、OFDM符号数)、小区禁止指示、同频小区选择允许标志等信息,这些信息用于SIB1的接收。如果小区禁止指示是“是”,则UE不能驻留在该小区,否则,UE可以驻留在该小区^[5,7]。

e) 解码SIB1: UE通过监测Type0-PDCCH公共搜索空间来解码PDSCH,获得SIB1, SIB1包括SSB的号码、SS/PBCH块的周期、SS/PBCH块的发射功率、上行公共配置、PDCCH和PUCCH的配置、TDD上下行配置以及其他SI(System Information)的调度等信息。

f) 解码其他SI: 其他SI既可以周期性广播,也可以根据UE的请求进行广播,如果根据UE的请求进行广播,则触发随机接入流程。

4 参数配置建议

在实际网络部署时,5G NR的同步过程需要关注以下几个参数配置。

4.1 SS/PBCH块的数量

半帧内的SS/PBCH块的最大数量 L_{\max} 与频段有关,实际配置的SS/PBCH块的数量与波束的宽度有关,而波束的宽度与载波频率和Massive MIMO天线的增益有关,对于定向天线,频率越高、增益越大,则波束越窄,配置的SS/PBCH块的数量就越多。

宏基站需要通过较大的天线增益、较窄的波束实现较大的覆盖范围,波束数量较多,因此需要配置的SS/PBCH块数量也较多,而微基站由于覆盖范围较小、波束较宽、波束数量较少,配置的SS/PBCH块的数量可以较少,甚至只需要配置1个SS/PBCH块即可。波束数量较多的优点是通过波束扫描可以获得较大的覆盖增益,缺点是增加了基站实施复杂度和系统开销;波束数量较少的优点是减少了基站实施复杂度和系统开销,缺点是覆盖增益减少^[8]。

对于配置了载波聚合的小区,SS/PBCH块的数量还与小区的类型有关,由于UE是在主服务小区上进行小区搜索和随机接入,为了减少系统开销,辅小区可以不配置SS/PBCH块,UE通过同一组小区内的主服务小区(PCell)或主辅服务小区(PSCell)的SS/PBCH块获得时间和频率同步。

由于SS/PBCH块只能配置在下行符号上,因此SS/PBCH块的数量还与时隙(slot)配置有关,如果在5ms周期内配置的上行符号较多,实际可配置的SS/PBCH块的数量要小于 L_{\max} 。

4.2 SS/PBCH块的周期

SS/PBCH块的周期可以配置为5、10、20、40、80和160ms,对于初始小区搜索,UE假定SS/PBCH块的周期是20ms。SS/PBCH周期长,可以节约OFDM、功率资源等系统开销,但是UE的下行同步需要较长的时间;SS/PBCH周期短,系统开销较多,但是UE可以快速实现下行同步。因此,需要在系统开销和同步时间之间进行折中。

建议根据基站类型设置SS/PBCH块的周期,由于宏基站覆盖大,接入的用户数较多,因此可以设置较短的SS/PBCH周期以便UE快速同步和接入。而微基站由于覆盖范围小,接入的用户数较少,可以设置较长的SS/PBCH周期以节约系统开销。

除此之外,还可以根据服务需求设置SS/PBCH块的周期,如果某个小区承载低接入时延要求的uRRLC业务,则可以设置较短的SS/PBCH周期;如果某个小区承载高接入时延的mMTC业务,则可以设置较长的SS/PBCH周期。

4.3 PCI规划

5G NR的PCI规划原则与LTE相类似,也要满足以下原则:相同PCI的复用距离足够远,避免同一个小站的小区以及该基站的邻区列表出现PCI相同的情况,保留适量的PCI用于室分规划、位置边界规划和网

络的扩展。

与LTE相比,5G NR的PCI规划有以下变化:PCI数量由504个增加到1008个,PCI发生冲突的概率会降低,与5G NR的小区覆盖范围较小、PCI需要较大的复用距离相适应。由于PBCH的DM-RS有4个频域位置,因此5G NR需要避免MOD 4冲突。

5 结束语

本文给出的下行同步过程的SS/PBCH块的数量、周期配置建议属于定性分析,在实际组网中,要综合考虑基站类型、覆盖区域、天线增益、业务需求以及用户行为等多种因素,合理设置上述参数并根据网络运行情况进行调整,既要降低系统负荷,又要保证用户快速实现下行同步。除此之外,还要合理设置PCI、 k_{SSB} 等参数,以便降低小区间的干扰。

参考文献:

- [1] 张新程,田韬,周晓津,等. LTE空中接口技术与性能[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:98-101.
- [2] NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2: 3GPP TS 38.300 [S/OL]. [2018-07-02]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [3] NR; Base Station (BS) radio transmission and reception: 3GPP TS 38.104 [S/OL]. [2018-07-02]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [4] NR; Physical channels and modulation: 3GPP TS 38.211 [S/OL]. [2018-7-2]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [5] NR; Radio Resource Control (RRC) protocol specification: 3GPP TS 38.331 [S/OL]. [2018-07-02]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [6] NR; Physical layer procedures for control: 3GPP TS 38.213 [S/OL]. [2018-07-02]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [7] NR; Multiplexing and channel coding: 3GPP TS 38.212 [S/OL]. [2018-07-02]. <ftp://3gpp.org/specs/>.
- [8] R1-1702360 SS Burst Set for Different Beam Approaches [EB/OL]. [2018-07-02]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [9] DAHLMAN E, PARKVALL S, SKOLD J. 4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G [M]. 3 Edition. U.S.A: Academic Press, 2016.
- [10] R1-1702121 NR System Sync Frequency Raster [EB/OL]. [2018-07-02]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [11] R1-1702315 Considerations on SS Burst Design and Indication [EB/OL]. [2018-07-02]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.
- [12] R1-1702902 Remaining issues of SS frequency raster [EB/OL]. [2018-07-02]. ftp://3gpp.org/tsg_ran/.

作者简介:

张建国,毕业于南京邮电学院,高级工程师,硕士,主要从事无线网络的规划和设计工作;黄正彬,毕业于西安邮电学院,工程师,学士,主要从事无线网络的规划和优化工作;周鹏云,毕业于北京邮电大学,工程师,学士,主要从事无线网络的规划和设计工作。