

# NR下行物理信道（PDCCH）简介

原创：孙老师 春天工作室 8月27日

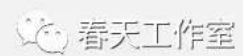


作者简介：**孙老师**（笔名），无线技术专家，多年来从事移动通信技术2G/3G/4G等相关技术研究工作和产品测试。出于个人兴趣和分享精神，目前业余时间在学习5G(NR)。所编写材料全部来自于3GPP规范和网络公开信息。这里借春天工作室(wireless-spring)平台，给同行们做一些分享，供参考并欢迎指正和垂询。

审核：春天哥



## 下行物理信道/信号



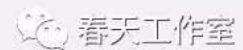
### 下行物理信道/信号

✓ NR支持的下行物理信道包括：

- Physical Downlink Shared Channel, PDSCH—物理下行共享信道
- Physical Broadcast Channel, PBCH—物理广播信道
- Physical Downlink Control Channel, PDCCH—物理下行控制信道

✓ NR支持的下行物理信号包括：

- Demodulation reference signals, DM-RS—解调参考信号
  - DM-RS for PDSCH
  - DM-RS for PDCCH
  - DM-RS for PBCH
- Phase-tracking reference signals, PT-RS—相位跟踪参考信号
- Channel-state information reference signal, CSI-RS—信道状态信息参考信号
- Primary synchronization signal, PSS—主同步信号
- Secondary synchronization signal, SSS—辅同步信号



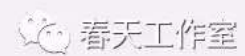
## 下行物理信道/信号

和LTE相比，NR不支持PCFICH和PHICH物理信道，不支持Cell-Specific RS参考信号（CRS），新引入了PT-RS参考信号。

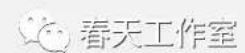
PSS/SSS和PBCH在之前文中已有描述。

本文主要介绍PDCCH物理信道。

PDSCH信道，CSI-RS和PT-RS待后续介绍。



## 下行物理控制信道--PDCCH




## PDCCH信道

LTE中，PDCCH信道对应的物理资源，时频域为相对固定的配置。

而NR中引入了CORESET（Control Resource SET）概念，对应PDCCH物理资源配置

- CORESET在频域包含一组PRBs，最小粒度为6 RB；
- 在时域长度为1-3个OFDM符号，在时隙中开始位置可配置；
- 在CORESET内，有Resource Element Groups (REGs)和Control Channel Elements (CCEs)的概念，每个CCE包含一组REGs。
- 控制信道由CCE聚合而成。
- CORESET内，CCE-to-REG 的映射关系，支持交织和非交织。（类似LTE的EPDCCH和MPDCCH）
- 每个小区最多配置12个CORESET (0-11)，CORESET 0为Type 0 CSS空间专用


 春天工作室

## PDCCH信道

### RRC高层信令中的CORESET的相关配置参数

```
ControlResourceSet ::=
  controlResourceSetId
  frequencyDomainResources
  duration
  cce-REG-MappingType
    interleaved
      reg-BundleSize
      interleaverSize
      shiftIndex
    nonInterleaved
  precoderGranularity
  tci-StatesPDCCH-ToAddList
  StateId
  tci-StatesPDCCH-ToReleaseList
  tci-PresentInDCI
  pdcch-DMRS-ScramblingID
  ...}

SEQUENCE {
  ControlResourceSetId,
  BIT STRING (SIZE (45)),
  INTEGER (1..maxCoReSetDuration),
  CHOICE {
    SEQUENCE {
      ENUMERATED {n2, n3, n6},
      ENUMERATED {n2, n3, n6},
      INTEGER(0..maxNrofPhysicalResourceBlocks-1)},
    NULL},
  ENUMERATED {sameAsREG-bundle, allContiguousRBs},
  SEQUENCE(SIZE (1..maxNrofTCI-StatesPDCCH)) OF TCI-
  StateId
  SEQUENCE(SIZE (1..maxNrofTCI-StatesPDCCH)) OF TCI-
  StateId
  ENUMERATED {enabled}
  INTEGER (0..65535)
}
```

 春天工作室



## CORESET相关参数解读

**controlResourceSetId** – 配置值1到11。（CORESET 0固定为用于RMSI的SearchSpace 0的资源）

CORESET ID在一个服务小区内的所有BWP中唯一

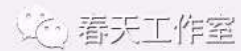
**frequencyDomainResources**--CORESET频域资源，45bits，每个bit表示6RBs，从PRB0开始。最高位bit表示配置的BWP中的最低频率。不在BWP内的频率，bit设为0。

BWP的起始RB位置先要按照6PRB组处理，即BWP第一个 6PRB组的PRB索引  $\rightarrow 6 \cdot \left\lceil N_{\text{BWP}}^{\text{start}} / 6 \right\rceil$

**Duration**--CORESET的时域连续符号数，取值1-3，对应物理层参数  $\rightarrow N_{\text{sym}}^{\text{CORESET}} \in \{1, 2, 3\}$

只有当高层参数 **dmrs-TypeA-Position**（MIB/ServingCellConfigCommon中）才支持= 3

**pdccch-DMRS-ScramblingID**--PDCCH DMRS加扰初始ID配置



## CORESET相关参数解读

**cce-REG-MappingType**-- CCE到REG的映射方式，交织或者非交织。

**交织时配置参数**

**reg-BundleSize** -- 交织块大小（REG个数），{n2, n3, n6},

**interleaveSize** – 交织深度，{n2, n3, n6},

**shiftIndex** – 映射时的偏移索引，不配置时默认为PCID，

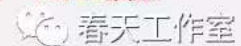
**precoderGranularity** – PDCCH在频域上的预编码粒度。 sameAsREG-bundle表示一个REG Bundle内采用相同预编码， allContiguousRBs表示CORESET频域上所有REG采用相同预编码。

**tci-StatesPDCCH-ToAddList/ tci-StatesPDCCH-ToReleaseList** --TCI配置，即PDCCH的DMRS和TCI State中配置的下行RS（CSI-RS或者SSB）之间的QCL关系

**tci-PresentInDCI** -- DCI中是否指示TCI索引



\*和QCL相关，不详细描述



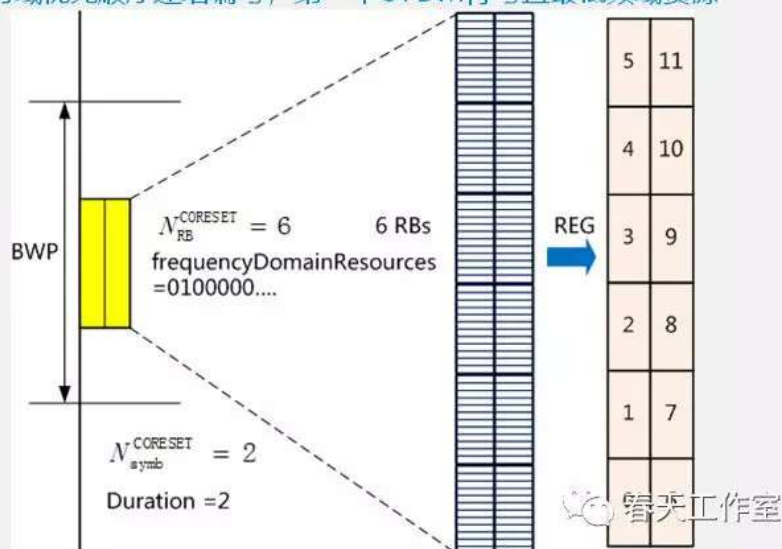
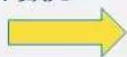
## CORESET—REG和RE示例

Resource Element Group (REG) : 一个REG由频域1个RB, 时域一个OFDM符号组成

一个CORESET内的REG编号按照时域优先顺序递增编号, 第一个OFDM符号且最低频域资源的RB为REG0

配置示例

CORESET RB个数为6  
符号数为2



## CORESET—CCE-to-REG映射

CCE: 一个CCE包含6个REG (RE个数=6\*6)

$L$  个REG组成了一个REG Bundle, 通过一个或者多个REG Bundle实现CCE到REG的映射。

CCE到REG的映射支持交织和非交织两种方式

具体映射规则如下:

REG bundle  $i$  is defined as REGs  $\{iL, iL+1, \dots, iL+L-1\}$  where  $L$  is the REG bundle size,

$i = 0, 1, \dots, N_{REG}^{CORESET}/L - 1$ , and  $N_{REG}^{CORESET} = N_{RB}^{CORESET} N_{symb}^{CORESET}$  is the number of REGs in the CORESET.

CCE  $j$  consists of REG bundles  $\{f(6j/L), f(6j/L+1), \dots, f(6j/L+6/L-1)\}$  where  $f(\cdot)$  is an interleaver

对于non-interleaved CCE-to-REG mapping映射,  $L = 6$   $f(j) = j$

## CORESET—CCE-to-REG映射非交织示例

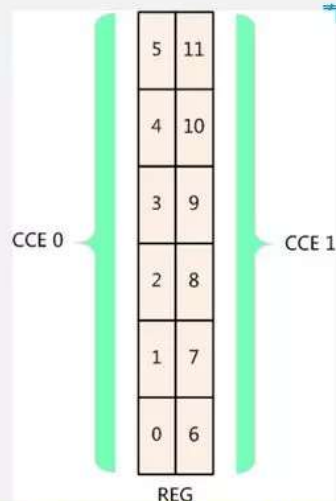
对于non-interleaved 映射,

$$L = 6$$

$$N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} = N_{\text{RB}}^{\text{CORESET}} N_{\text{symb}}^{\text{CORESET}} = 12$$

$$i = 0, 1, \dots, N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / L - 1 = 0, 1$$

$$f(j) = j \quad \{iL, iL + 1, \dots, iL + L - 1\}$$



REG	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	$i*L$	$i*L+1$	$i*L+2$	$i*L+3$	$i*L+4$	$i*L+5$	$i*L$	$i*L+1$	$i*L+2$	$i*L+3$	$i*L+4$	$i*L+5$
REG Bundle	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0						1					
CCE j	$f(0) = 0$						$f(1) = 1$					
	0						1					

## CORESET—CCE-to-REG交织映射

对于interleaved CCE-to-REG mapping映射, 交织函数定义如下

$$f(j) = (rC + c + n_{\text{shift}}) \bmod (N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / L)$$

$j = cR + r$   
 $r = 0, 1, \dots, R-1$   
 $c = 0, 1, \dots, C-1$   
 $C = N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / (LR)$

高层配置  $reg\text{-}BundleSize$  范围  $L \in \{2, 6\}$   $N_{\text{symb}}^{\text{CORESET}} = 1$   
 $L \in \{N_{\text{symb}}^{\text{CORESET}}, 6\}$   $N_{\text{symb}}^{\text{CORESET}} \in \{2, 3\}$

高层配置  $interleaverSize$   $R \in \{2, 3, 6\}$

$n_{\text{shift}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$  对于PBCH和SIB1配置的CORESET

$n_{\text{shift}} \in \{0, 1, \dots, 274\}$  对应高层配置shiftIndex

对于PBCH配置的CORESET, 默认交织映射  $L = 6$   $R = 2$



## CORESET—CCE-to-REG映射交织示例

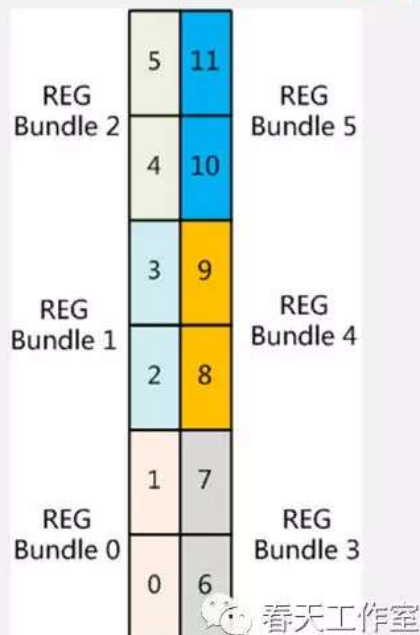
## 高层配置参数示例

$$L=2, R=2 \quad N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} = N_{\text{RB}}^{\text{CORESET}} N_{\text{sybm}}^{\text{CORESET}} = 12$$

REG Bundle  $i$  对应  $\{iL, iL + 1, \dots, iL + L - 1\}$

$$i = 0, 1, \dots, N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / L - 1 = 0, 1, 2, 3, 4, 5$$

REG Bundle	REG
0	{0, 1}
1	{2, 3}
2	{4, 5}
3	{6, 7}
4	{8, 9}
5	{10, 11}



## CORESET—CCE-to-REG映射交织示例

$$f(j) = (rC + c + n_{\text{shift}}) \bmod (N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / L) \quad \text{高层配置参数示例}$$

$$j = cR + r$$

$$r = 0, 1, \dots, R-1$$

$$c = 0, 1, \dots, C - 1$$

$$C = N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / (LR)$$

$$L = 2, R = 2 \quad n_{\text{shift}} = 1$$

$$C = N_{\text{REG}}^{\text{CORESET}} / (LR) = 3$$

CCE  $j$  对应的REG Bundle为  $\{f(6j/L), f(6j/L+1), \dots, f(6j/L+6/L-1)\}$

CCE $j = 0$	$f(0)$	$f(1)$	$f(2)$
	$j=0, c=0, r=0,$	$j=1, c=0, r=1,$	$j=2, c=1, r=0,$
	$f(j) = 1$	$f(j) = 4$	$f(j) = 2$
CCE $j = 1$	$f(3)$	$f(4)$	$f(5)$
	$j=3, c=1, r=1,$	$j=4, c=2, r=0,$	$j=5, c=2, r=$
	$f(j) = 5$	$f(j) = 3$	$f(j) = 0$



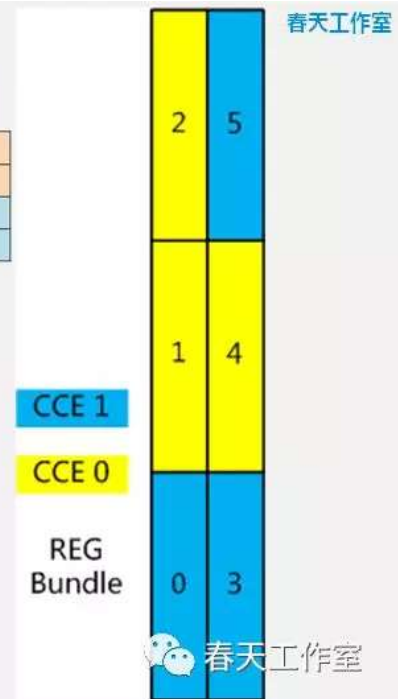
## CORESET—CCE-to-REG映射交织示例

CCE $j = 0$	$f(0)$	$f(1)$	$f(2)$
	REG Bundle 1	REG Bundle 4	REG Bundle 2
CCE $j = 1$	$f(3)$	$f(4)$	$f(5)$
	REG Bundle 5	REG Bundle 3	REG Bundle 0

### 交织映射示例

$$N_{\text{sym}}^{\text{CORESET}} = 2 \quad N_{\text{RB}}^{\text{CORESET}} = 6$$

$$L = 2, R = 2 \quad n_{\text{shift}} = 1$$



## PDCCH聚合等级

和LTE类似，NR的PDCCH信道由1个或者多个CCE组成（聚合等级）

规范38211中，对PDCCH支持的聚合等级定义

Table 7.3.2.1-1: Supported PDCCH aggregation levels

Aggregation level	Number of CCEs
1	1
2	2
4	4
8	8
16	16

## NR PDCCH搜索空间

NR中PDCCH搜索空间概念和LTE类似，UE盲检PDCCH搜索空间发送的DCI

Type	Search Space	RNTI	Use Case
Type0-PDCCH	Common	SI-RNTI on a primary cell	SIB Decoding
Type0A-PDCCH	Common	SI-RNTI on a primary cell	SIB Decoding
Type1-PDCCH	Common	RA-RNTI, TC-RNTI, C-RNTI on a primary cell	Msg2, Msg4 decoding in RACH
Type2-PDCCH	Common	P-RNTI on a primary cell	Paging Decoding
Type3-PDCCH	Common	INT-RNTI, SFI-RNTI, TPC-PUSCH-RNTI, TPC-PUCCH-RNTI, TPC-SRS-RNTI, C-RNTI, CS-RNTI(s), SP-CSI-RNTI	
	UE Specific	C-RNTI, or CS-RNTI(s), or SP-CSI-RNTI	User specific PDCCH

## SearchSpace搜索空间配置参数

和LTE不同，NR中的不同搜索空间需要高层参数配置

SearchSpace配置规定了UE如何/哪里搜索PDCCH候选集

每个搜索空间关联一个CORESETID（物理资源）

```

SearchSpace ::=
    searchSpaceId
    controlResourceSetId
    monitoringSlotPeriodicityAndOffset
    sl1
    sl2
    sl4,5, 8,10, 16,20,40 ..... 2560
    .....
SEQUENCE {
    SearchSpaceId,
    ControlResourceSetId
CHOICE {
    NULL,
    INTEGER (0..1),

```

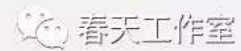
接下页

- *SearchSpaceId*: 范围0-39，0表示PBCH或者ServingCellConfigCommon配置的RMSI搜索空间。每个BWP内搜索空间个数限定在10个（含初始搜索空间）
- *ControlResourceSetId*: 0表示初始CORESET
- *monitoringSlotPeriodicityAndOffset*: 监听时隙的周期和offset配置

## SearchSpace搜索空间配置参数

```
SearchSpace ::=
    ..... 接上页
    duration INTEGER (2..2559) OPTIONAL, -- Need R
    monitoringSymbolsWithinSlot BIT STRING (SIZE (14)) OPTIONAL, -- Cond Setup
    nrofCandidates SEQUENCE {
        aggregationLevel1 ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8},
        aggregationLevel2 ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8},
        aggregationLevel4 ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8},
        aggregationLevel8 ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8},
        aggregationLevel16 ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5, n6, n8}
    }
    ..... 接下页
```

- *duration*: 每次搜索空间出现（周期）时刻的连续时隙数，默认为1，最大为periodicity-1
- *monitoringSymbolsWithinSlot*: 每个时隙内监听PDCCH CORESET起始符号，使用14bits位图，最高位表示时隙内的第一个OFDM符号
- *nrofCandidates*: 不同聚合等级时，PDCCH候选集个数配置

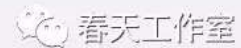


## SearchSpace搜索空间配置参数

```
SearchSpace ::=
    ..... 接上页
    searchSpaceType CHOICE {
        common SEQUENCE {
            dci-Format0-0-AndFormat1-0 SEQUENCE {
            .....
            dci-Format2-0 .....
            dci-Format2-1 .....
            dci-Format2-2 .....
            dci-Format2-3 .....
            .....
        }
        ue-Specific SEQUENCE {
            dci-Formats ENUMERATED {formats0-0-And-1-0, formats0-1-And-1-1},
        }
    }
    }
```

部分内容有省略

- *searchSpaceType*: 搜索空间类型，包括公共搜索空间和UE专用搜索空间，以及在搜索空间中监听的DCI格式





## PDCCH搜索空间周期配置

和LTE不同，PDCCH搜索空间在时域上可以进行周期配置；

即UE按照周期配置进行PDCCH搜索（类似NB-IoT和eMTC的PDCCH周期配置）

PDCCH搜索空间开始时隙号满足

$$(n_f \cdot N_{\text{slot}}^{\text{frame}, \mu} + n_{s,f}^{\mu} - o_{p,s}) \bmod k_{p,s} = 0$$

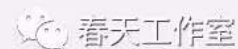


帧号 每帧时隙数 时隙号 PDCCH偏移和周期配置

*monitoringSlotPeriodicityAndOffset*

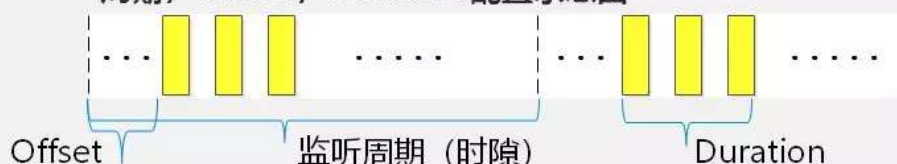
高层配置*duration*参数时，UE在PDCCH搜索空间开始后，监听 $T_{p,s}$ 个连续时隙

一个时隙内可以有多个CORESET，不支持跨时隙的PDCCH候选集

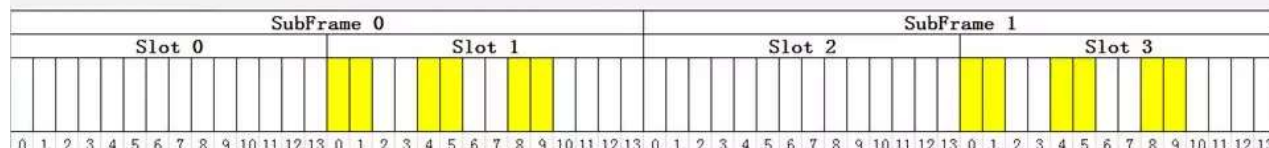


## PDCCH搜索空间时域配置示例

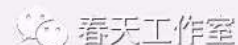
周期，Offset，Duration配置示意图



PDCCH时隙和符号配置示意图  
以SCS=30kHz为例



监听周期=2时隙，Offset=1，Duration =1（默认）  
monitoringSymbolsWithinSlot = 10001000100000



## PDCCH信道配置

PDCCH信道配置包括：

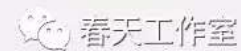
- PDCCH-ConfigCommon (小区级) --CSS空间配置
- PDCCH-Config (UE级) --配置USS和CSS空间配置

### PDCCH-ConfigCommon的配置路径

SIB1->PDCCH-ConfigCommon **SA方式**

ServingCellConfigCommon ->DownlinkConfigCommon->

initialDownlinkBWP (BWP-DownlinkCommon) ->PDCCH-ConfigCommon **NSA方式**



## PDCCH信道Common配置

```
PDCCH-ConfigCommon ::= SEQUENCE {
    controlResourceSetZero      INTEGER (0..15)    OPTIONAL,
    commonControlResourceSet    ControlResourceSet OPTIONAL,
    searchSpaceZero             INTEGER (0..15)  OPTIONAL,
    commonSearchSpace           SEQUENCE (SIZE(1..4)) OF SearchSpace OPTIONAL,
    searchSpaceSIB1             SearchSpaceId   OPTIONAL,
    searchSpaceOtherSystemInformation SearchSpaceId OPTIONAL,
    pagingSearchSpace           SearchSpaceId   OPTIONAL,
    ra-SearchSpace              SearchSpaceId   OPTIONAL,
    ...}

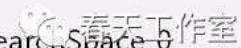
```

•controlResourceSetZero, searchSpaceZero—分别对应CORESET 0和SearchSpace 0的配置。具体含义和MIB中pdcch-ConfigSIB1值类似。（NSA下需要在此配置）

•可以配置额外的CORESET (1-11)，不配置时，默认为CORESET 0 (SSB关联)

•可以配置1-4个搜索空间：searchSpaceSIB1/searchSpaceOtherSystemInformation/pagingSearchSpace/ ra-SearchSpace。都是可选配置，当不配置时，都默认使用Search Space 0 (SSB关联)

•因此对于SA模式，PDCCH-Common也可以不配置，默认为CORESET 0和SearchSpace 0



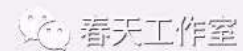
## PDCCH信道Common配置

UE级PDCCH配置参数通过RRC层信令中包含的PDCCH-Config下发  
PDCCH-Config配置包含在BWP配置中

```
PDCCH-Config ::= SEQUENCE {
    controlResourceSetToAddModList SEQUENCE(SIZE (1..3)) OF ControlResourceSet
    controlResourceSetToReleaseList SEQUENCE(SIZE (1..3)) OF ControlResourceSetId
    searchSpacesToAddModList SEQUENCE(SIZE (1..10)) OF SearchSpace
    searchSpacesToReleaseList SEQUENCE(SIZE (1..10)) OF SearchSpaceId
    downlinkPreemption SetupRelease { DownlinkPreemption }
    tpc-PUSCH SetupRelease { PUSCH-TPC-CommandConfig }
    tpc-PUCCH SetupRelease { PUCCH-TPC-CommandConfig }
    tpc-SRS SetupRelease { SRS-TPC-CommandConfig }
    ...}
```

每个BWP中，最多配置3个CORESET资源（包含CORESET 0）

每个BWP中，最多配置10个SearchSpace（包含SearchSpace 0）



## PDCCH空间搜索

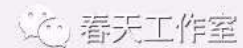
确定了PDCCH物理资源（CORESET），搜索空间类型/时域特性后，  
UE在搜索空间中按照不同的RNTI进行搜索，也称为盲检（原理和LTE类似）

UE首先要确定搜索空间内的PDCCH候选集

在一个PDCCH 搜索空间 $s$ 内，关联CORESET  $p$ ，PDCCH候选集位置根据以下公式，

$$L \cdot \left\{ \left( Y_{p, n_{sf}^{\mu}} + \left\lfloor \frac{m_{s, n_{CI}} \cdot N_{CCE, p}}{L \cdot M_{p, s, \max}^{(L)}} \right\rfloor + n_{CI} \right) \bmod \left\lfloor N_{CCE, p} / L \right\rfloor \right\} + i$$

以上公式和LTE类似





## PDCCH空间搜索公式解读

$$L \cdot \left\{ \left( Y_{p, n_{sf}^{\mu}} + \left\lfloor \frac{m_{s, n_{CI}} \cdot N_{CCE, p}}{L \cdot M_{p, s, \max}^{(L)}} \right\rfloor + n_{CI} \right) \bmod \left\lfloor N_{CCE, p} / L \right\rfloor \right\} + i$$

•  $L$  为聚合等级配置。对于USS空间,  $L \in \{1, 2, 4, 8, 16\}$

•  $M_{p, s}^{(L)}$  为  $L$ 聚合等级对应的候选集个数。

对于USS和CSS, 聚合等级和聚合等级对应的候选集个数都在 *SearchSpace* 参数中配置。

对于CSS, 在参数未配置时, 采用下表默认的定义

Table 10.1-1: CCE aggregation levels and maximum number of PDCCH candidates per CCE aggregation level for common search space sets configured by *searchSpace-SIB1*

CCE Aggregation Level	Number of Candidates
4	4
8	2
16	1

春天工作室

## PDCCH空间搜索公式解读

$$L \cdot \left\{ \left( Y_{p, n_{sf}^{\mu}} + \left\lfloor \frac{m_{s, n_{CI}} \cdot N_{CCE, p}}{L \cdot M_{p, s, \max}^{(L)}} \right\rfloor + n_{CI} \right) \bmod \left\lfloor N_{CCE, p} / L \right\rfloor \right\} + i$$

•  $Y_{p, n_{sf}^{\mu}}$  候选集在搜索空间内的开始位置, 对于CSS, 固定为0, 对于USS, 针对不同UE有类似随机化的处理 (和LTE类似)。

for a UE-specific search space,  $Y_{p, n_{sf}^{\mu}} = (A_p \cdot Y_{p, n_{sf}^{\mu}-1}) \bmod D$ ,  $Y_{p, -1} = n_{RNTI} \neq 0$ ,  $A_0 = 39827$  for  $p \bmod 3 = 0$ ,  $A_1 = 39829$  for  $p \bmod 3 = 1$ ,  $A_2 = 39839$  for  $p \bmod 3 = 2$ , and  $D = 65537$ ;

•  $N_{CCE, p}$  CORESET  $p$ 中的CCE个数, CCE编号从0到  $N_{CCE, p} - 1$

•  $n_{CI}$  载波指示

•  $m_{s, n_{CI}}$  时隙内的搜索空间 $s$ , 搜索空间候选集编号

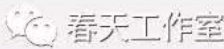
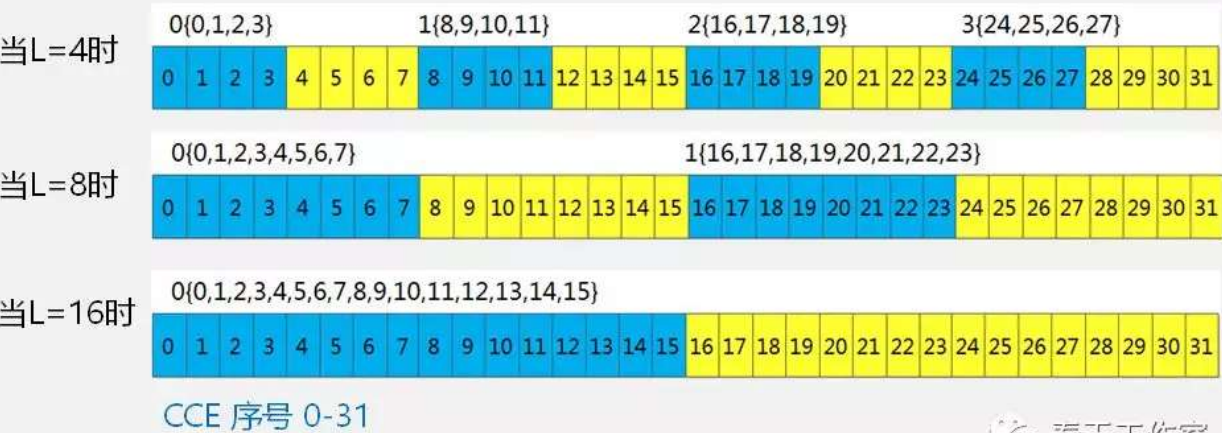
$i = 0, \dots, L - 1$

春天工作室

# PDCCH空间搜索示例

对于公共搜索空间默认配置  $Y_{p,n_{sf}} = 0$   $N_{CCE,p} = 32$

聚合等级L=4/8/16, PDCCH候选集个数=4/2/1, 示例如下



# PDCCH最大盲检次数

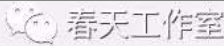
根据搜索空间配置, 聚合等级, 候选集配置, UE确定了PDCCH候选集位置  
为避免UE盲检次数过多, 规范38213还定义了, 针对不同子载波间隔一个时隙内的最大盲检次数

Table 10.1-2 provides the maximum number of monitored PDCCH candidates,  $M_{PDCCH}^{max, slot, \mu}$ , for subcarrier spacing configuration  $\mu$  for a UE per slot for operation with a single serving cell.

Table 10.1-2: Maximum number  $M_{PDCCH}^{max, slot, \mu}$  of monitored PDCCH candidates per slot for subcarrier spacing configuration  $\mu \in \{0, 1, 2, 3\}$  for a single serving cell.

$\mu$	Maximum number of monitored PDCCH candidates per slot and per serving cell $M_{PDCCH}^{max, slot, \mu}$
0	44
1	36
2	22
3	20

子载波间隔大, 时隙长度短, 时隙内候选集个数变少



## PDCCH最大盲检次数

在一个时隙内，可能会配置多个CORESET，也可以同一个CORESET出现多次（符号位置不同），这些CORESET内的CCE称为Non-Overlapped CCE。

规范38213中，定义了针对不同子载波间隔，同一个时隙内，UE能够进行盲检的Non-Overlapped CCE的总个数。

**Table 10.1-3: Maximum number  $C_{\text{PDCCH}}^{\text{max, slot}, \mu}$  of non-overlapped CCEs per slot for subcarrier spacing configuration  $\mu \in \{0, 1, 2, 3\}$  for a single serving cell.**

$\mu$	Maximum number of non-overlapped CCEs per slot and per serving cell $C_{\text{PDCCH}}^{\text{max, slot}, \mu}$
0	56
1	56
2	48
3	32

春天工作室

## PDCCH搜索空间和盲检

当一个时隙内，只有一个搜索空间（CSS或者USS）时（对应一个CORESET），时隙内的PDCCH盲检规则和LTE类似，最大盲检候选集个数根据表格定义；

当一个时隙内，有多个搜索空间（多个CSS和多个USS）时（对应1个CORESET或者Non-Overlapped CCE）时，由于受到UE最大盲检能力的限制，因此时隙内的盲检（CSS和USS）规则就变得比较复杂。

一个时隙内UE盲检CSS搜索空间候选集个数

$$M_{\text{PDCCH}}^{\text{CSS}} = \sum_{i=0}^{I_{\text{CSS}}-1} \sum_L M_{P_{\text{CSS}}(i), S_{\text{CSS}}(i)}^{(L), \text{monitor}}$$

$i$  为时隙内的公共搜索空间索引

$S_{\text{CSS}}(i)$  为CSS

$P_{\text{CSS}}(i)$  为CSS对应CORESET

盲检CSS使用了Non-Overlapped CCE个数  $C_{\text{PDCCH}}^{\text{CSS}}$

候选集个数和盲检Non-Overlapped CCE个数不能超过协议定义的最大值

春天工作室



## PDCCH搜索空间和盲检

在一个时隙内，同时有CSS和USS时，UE优先盲检CSS。

完成CSS盲检后，再根据剩余候选集个数和剩余Non-Overlapped CCE个数对USS进行盲检。规范定义如下：

**USS候选集个数**  $M_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} = M_{\text{PDCCH}}^{\text{maxslot}, \mu} - M_{\text{PDCCH}}^{\text{CSS}}$  **USS的CCE个数**  $C_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} = C_{\text{PDCCH}}^{\text{maxslot}, \mu} - C_{\text{PDCCH}}^{\text{CSS}}$

规范用了一段伪代码表示，盲检USS的候选集和CCE个数关系

实际意义， $j$ 个USS搜索空间的候选集和CCE个数都不超过 USS候选集个数和CCE个数

Set  $j = 0$  ;

while  $\sum_L M_{P_{\text{USS}}(j), S_{\text{USS}}(j)}^{(L), \text{monitor}} \leq M_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}}$  AND  $\ell(V_{\text{CCE}}(S_{\text{USS}}(j))) \leq C_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}}$


allocate  $\sum_L M_{P_{\text{USS}}(j), S_{\text{USS}}(j)}^{(L), \text{monitor}}$  monitored PDCCH candidates to UE-specific search space set  $S_{\text{USS}}(j)$

$M_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} = M_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} - \sum_L M_{P_{\text{USS}}(j), S_{\text{USS}}(j)}^{(L), \text{monitor}}$  ;  第j个USS搜索空间盲检候选集个数

$C_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} = C_{\text{PDCCH}}^{\text{USS}} - \ell(V_{\text{CCE}}(S_{\text{USS}}(j)))$  ;  第j个USS搜索空间对应的CCE个数

$j = j + 1$  ;

end while ;

 春天工作室

## 搜索空间简介


**Type0-PDCCH CSS**--由MIB中pdccch-configSIB1配置（SA），或者PDCCH Config Common中的searchSpaceSIB1配置（NSA），CRC扰码为SI-RNTI；

如果UE没有配置searchSpaceSIB1，UE按照MIB（SSB）中的方式决定Type0-PDCCH CSS；

**Type0-PDCCH CSS**的搜索空间索引为0，对应的CORESET索引为0。

**Type0A-PDCCH CSS**--由PDCCH Config Common中的searchSpace-OSI配置，CRC扰码为SI-RNTI；不配置时，使用CORESET 0，CCE聚合等级和候选个数和Type 0 CSS一致

**Type2-PDCCH CSS**--由PDCCH Config Common中的pagingSearchSpace配置，CRC扰码为P-RNTI；不配置时，使用CORESET 0，CCE聚合等级和候选个数和Type 0 CSS一致

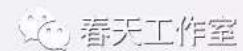
 春天工作室

## 搜索空间简介

**Type1-PDCCH CSS**，由PDCCH Config Common中的ra-SearchSpace配置，CRC扰码为RA-RNTI或者TC-RNTI；

对应的CORESET，通过高层参数ra-ControlResourceSet配置。如果不配置时，沿用Type0-PDCCH CSS的CORESET

**Type3-PDCCH CSS**，由PDCCH Config (Dedicated) 中的searchSpaceType = common配置，CRC扰码为INT-RNTI, or SFI-RNTI, or TPC-PUSCH-RNTI, or TPC-PUCCH-RNTI, or TPC-SRS-RNTI and, only for the primary cell, C-RNTI, or CS-RNTI(s)；



## PDCCH信道—RNTI简介

UE在搜索空间内使用响应RNTI盲检，NR中各种RNTI用途在规范38321中定义

RNTI	Usage	Transport Channel	Logical Channel
P-RNTI	Paging and System Information change notification	PCH	PCCH
SI-RNTI	Broadcast of System Information	DL-SCH	BCCH
RA-RNTI	Random Access Response	DL-SCH	N/A
Temporary C-RNTI	Contention Resolution (when no valid C-RNTI is available)	DL-SCH	CCCH
Temporary C-RNTI	Msg3 transmission	UL-SCH	CCCH, DCCH, DTCH
C-RNTI	Dynamically scheduled unicast transmission	UL-SCH	DCCH, DTCH
C-RNTI	Dynamically scheduled unicast transmission	DL-SCH	CCCH, DCCH, DTCH
C-RNTI	Triggering of PDCCH ordered random access	N/A	N/A
CS-RNTI	Configured scheduled unicast transmission (activation, reactivation and retransmission)	DL-SCH, UL-SCH	DCCH, DTCH
CS-RNTI	Configured scheduled unicast transmission (deactivation)	N/A	N/A
TPC-PUCCH-RNTI	PUCCH power control	N/A	N/A
TPC-PUSCH-RNTI	PUSCH power control	N/A	N/A
TPC-SRS-RNTI	SRS trigger and power control	N/A	N/A
INT-RNTI	Indication pre-emption in DL	N/A	N/A
SFI-RNTI	Slot Format Indication on the given cell	N/A	N/A
SP-CSI-RNTI	Activation of Semi-persistent CSI reporting on PUSCH	N/A	N/A



## PDCCH信道—RNTI简介

RNTI值的范围，也是在规范38321中定义

Table 7.1-1: RNTI values.

Value (hexa-decimal)	RNTI
0000	N/A
0001–FFEF	RA-RNTI, Temporary C-RNTI, C-RNTI, CS-RNTI, TPC-PUCCH-RNTI, TPC-PUSCH-RNTI, TPC-SRS-RNTI, INT-RNTI, SFI-RNTI, and SP-CSI-RNTI
FFF0–FFFD	Reserved
FFFE	P-RNTI
FFFF	SI-RNTI

春天工作室

## 下行接收类型

NR中（38202）定义了多个下行接收类型—也就是 物理信道/RNTI/传输信道的组合关系

"Reception Type"	Physical Channel(s)	Monitored RNTI	Associated Transport Channel	Comment
A	PBCH	N/A	BCH	
B	PDCCH+PDSCH	SI-RNTI	DL-SCH	Note 1
C0	PDCCH	P-RNTI	N/A	Note 2
C1	PDCCH+PDSCH	P-RNTI	PCH	Note 1
D0	PDCCH+PDSCH	RA-RNTI or Temporary C-RNTI	DL-SCH	Note 1
D1	PDCCH+PDSCH	C-RNTI, CS-RNTI, [new RNTI]	DL-SCH	
E	PDCCH	C-RNTI	N/A	Note 3
F	PDCCH	C-RNTI, CS-RNTI, [new RNTI]	UL-SCH	
G	PDCCH	SFI-RNTI	N/A	
H	PDCCH	INT-RNTI	N/A	
J0	PDCCH	TPC-PUSCH-RNTI	N/A	
J1	PDCCH	TPC-PUCCH-RNTI	N/A	
J2	PDCCH	TPC-SRS-RNTI	N/A	
K	PDCCH	SP-CSI-RNTI	N/A	
Note 1: These are received from PCell only.				
Note 2: In some cases UE is only required to monitor the short message within the DCI.				
Note 3: This corresponds to PDCCH-ordered PRACH.				

春天工作室



## 下行接收类型组合

同时还定义了下行接收类型组合—UE在不同状态下，支持的下行接收类型组合

Table 6.2-2: Downlink "Reception Type" combinations

UE capability	Supported Combinations			Comment
	PCell	PSCell	SCell	
1. RRC_IDLE				
	A + (B and/or C1 and/or D0)			Note 1
2. RRC_INACTIVE				
	A + B + C1 + D0			
3. RRC_CONNECTED				
	A + C0 + (B and/or (D0 or D1)) + E + F + G + H + J0 + J1 + J2 + K	A + C0 + (B and/or (D0 or D1)) + E + F + G + H + J0 + J1 + J2 + K	D1 + F + G + H + J0 + J1 + J2 + K	Note 2
Note 1: UE is not required to decode more than two PDSCH simultaneously, and decoding prioritization when more than two are received is up to UE implementation.				
Note 2: UE is not required to decode SI-RNTI PDSCH simultaneously with C-RNTI PDSCH, unless in FR1.				

## DCI格式

UE在PDCCH信道中收到的有效信息为下行控制指示DCI

DCI Format	Usage
Format 0_0	Scheduling of PUSCH in one cell
Format 0_1	Scheduling of PUSCH in one cell
Format 1_0	Scheduling of PDSCH in one cell DCI format 1_0 with CRC scrambled by C-RNTI DCI format 1_0 with CRC scrambled by RA-RNTI DCI format 1_0 with CRC scrambled by TC-RNTI
Format 1_1	Scheduling of PDSCH in one cell
Format 2_0	Notifying a group of UEs of the slot format
Format 2_1	Notifying a group of UEs of the PRB(s) and OFDM symbol(s) where UE may assume no transmission is intended for the UE
Format 2_2	Transmission of TPC commands for PUCCH and PUSCH
Format 2_3	Transmission of a group of TPC commands for SRS transmissions by one or more UEs

\*DCI字段含义不在此介绍

## PDCCH信道的DM-RS

**DM-RS序列**  $r_l(m) = \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m)) + j \frac{1}{\sqrt{2}}(1 - 2 \cdot c(2m+1))$

**伪随机序列初始化**  $c_{\text{init}} = (2^{17} (14n_{s,f}'' + l + 1)(2N_{\text{ID}} + 1) + 2N_{\text{ID}}) \bmod 2^{31}$

$N_{\text{ID}} \in \{0, 1, \dots, 65535\}$  对应RRC高层参数 *pdccch-DMRS-ScramblingID*

$N_{\text{ID}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$  RRC高层参数不配置时

**DM-RS  
资源映射公式**

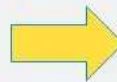
$$a_{k,l}^{(p,\mu)} = \beta_{\text{DMRS}}^{\text{PDCCCH}} \cdot r_l(3n + k')$$

$$k = nN_{\text{sc}}^{\text{RB}} + 4k' + 1$$

$$k' = 0, 1, 2$$

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

示意图



	...
11	
10	
9	DM-RS
8	
7	
6	
5	DM-RS
4	
3	
2	
1	DM-RS
0	
	...

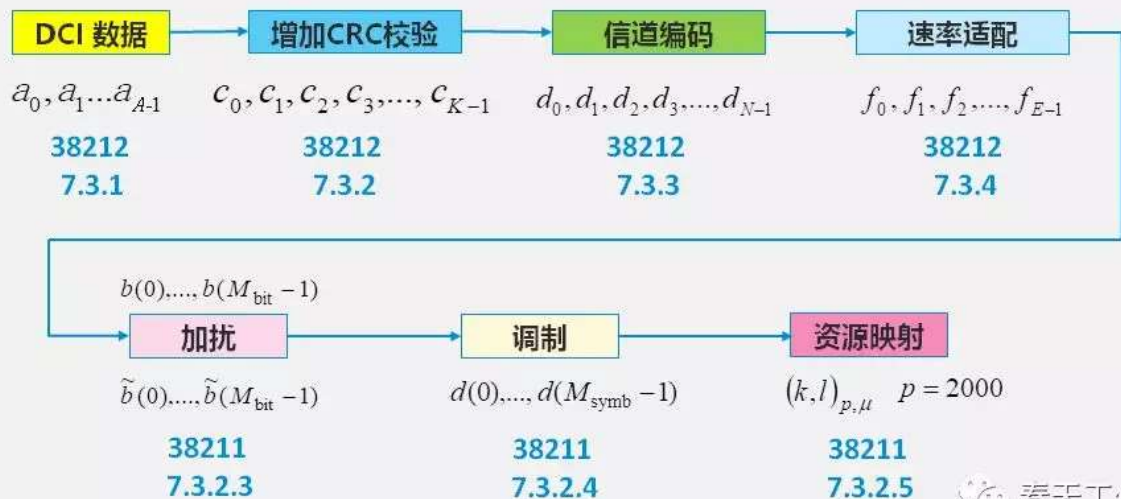
PDCCCH的DMRS

$k$  对应的reference point:

- subcarrier 0 of the lowest-numbered resource block in the CORESET if the CORESET is configured by the PBCH or SIB1,
- subcarrier 0 in common resource block 0 otherwise

## PDCCH信道处理流程

PDCCH信道在物理层总体处理流程示意图




## PDCCH信道小结

对于PDCCH信道，个人理解小结：

- LTE和NR中，PDCCH信道都是上下行业务调度的“中枢神经”；
- LTE中，PDCCH信道引入了REG，CCE，AL聚合等级，盲检候选集/盲检次数，搜索空间，RNTI，DCI等相关概念。因此，对初学者来说，PDCCH信道是一个相对“难”一点的信道；
- 在NR中，更进一步引入了CORESET，Search Space配置，使得PDCCH信道比LTE更复杂，配置更灵活。
- 本文对NR PDCCH信道做了初步整理，希望能给大家提供一些参考。还有一些内容没有涉及（例如跨载波调度），个人理解不全面，错误在所难免，请大家多指教！

**谢谢！**

 春天工作室

其他未竟问题，欢迎联系微信  
icehero312进行进一步的讨论和切磋。



（后注：孙老师的作品，总是满满诚意，力透纸背，工匠精神，仔细读来，如沐春风，而且很多繁难的问题，会茅塞顿开。本人水平和精力有限，审核后仍不能保证面面俱到，欢迎大家垂询和斧正，可直接帖子后留言。另，孙老师，预计会在春天工作室（wireless-spring）做一个系列的NR的解读。下一篇孙老师会介绍 NR的 PDSCH信道。敬请期待和关注。 ----- 春天哥 20180827 ）

春天工作室 管理员 微信：





春天工作室 春天哥 微信：



付费入群 (VIP) 流程：

春天工作室技术讨论群，秉承了最纯粹的理念“纯技术交流和切磋，相互尊重/实事求是、理论+实践”，目前已经成为行业著名的技术研究社群。群里专家云集，讨论范围广袤，涵盖234G/5G/IOT/V2X，包含RAN/核心网/终端/芯片等，群员来自“设备商、运营商、芯片商、终端商、研究院、设计院、通信公司、高校”等。是国内高端的专业级的技术讨论群，且与春天工作室(wireless-spring)微信公众平台互为依托，旨在打造业内和谐的纯粹的高素质专业技术交流和学习平台。

#### 付费加入技术讨论群（VIP会员）的步骤如下：

1. 联系管理员 清风（扫描右侧二维码）。
2. 管理员会询问三个基本技术问题，以验证是否是同行。
3. 待管理员完成准入控制后，需付费入群，目前恢复为以前规则，暂定为VIP会员 499/年。VIP会员将获得包括“优先答疑/技术指导/获取部分原稿/未来可能的针对VIP陆续推出的增值服务”等专属服务。
4. 付费后，管理员会发放VIP群邀请和链接。VIP付费会员，可根据需要选择进入4个群。VIP会员仍需承诺遵守群规则，但原则只要不是严重违反群规则，一般不会清出。每月的统计的有效发言不在之列。可以跟随着春天工作室一起学习 and 成长。)



春天工作室

7个不分专业的全方向群，分别是：

“春天工作室：藏经阁”  
 “春天工作室：达摩院”  
 “春天工作室：般若堂”  
 “春天工作室：光明顶”  
 “春天工作室：无量山”  
 “春天工作室：聚贤庄”  
 “春天工作室：思过崖”

4个细分了专业方向的群，分别是：

“春天工作室：终端芯片技术讨论群”  
 “春天工作室：3GPP规范（4G/5G）讨论群”  
 “春天工作室：蜂窝物联网技术讨论群”  
 “春天工作室：网规网优及性能提升讨论群”

- ✓ 付费VIP会员可任意选择4个群，付费后，告知管理员需要加入的群组，管理员发放邀请后，点链接即可入群。每群以200人为上限。
- ✓ VIP会员价格：499/年
- ✓ 会员费用，将主要用于春天工作室的长期发展和维护（如：发放稿酬、春天工作室日常运维、不定期的线下活动等）。
- ✓ 从即日起，暂时不会再推出免费入群名额。最终解释权归春天工作室所有。

春天工作室

- 春天工作室 致力于打造国内专业级无线技术研究平台。本平台由春天哥创办，主要专注于234G/5G/IoT/V2X等无线相关的技术研究。[春天工作室 简要说明](#)
- 春天工作室崇尚的风格是：原创+精品 / 理论+实践。春天工作室崇尚的理念是：传播知识，更传播知识的力量。
- 专业范畴内的技术讨论可直接联系春天哥，微信icehero312。申请入群、索要底稿、商务合作等其他非专业范畴的请联系 管理员微信：hydyhydy007。或者扫码，附图如下。精力有限。非诚勿扰。

- 欢迎投稿： [华山论剑：春天工作室\(wireless-spring\)至诚邀请并欢迎各位同仁和专家们来稿！](#)



“传播知识，更传播知识的力量”

赞赏码

春天工作室

(因微信公众号原因，暂无法设置作者微信和赞赏的关联，故这里采用了赞赏码的形式)

阅读 2932

23

精选留言

写留言



porper

请教一下，38.211中有写，一个REG频域上有12个子载波，时域是一个符号。这样一个REG中就有12个RE。而一个PRB中有3个RE承载PDCCH DMRS。这样就可以理解是一个REG中有9个RE可用。但是孙老师说是一个REG有6个RE，这是怎么来的啊？谢谢

另外，比较同意 含笑半步颠 的说法，我理解REG组成CCE时是先时域后频域，记得LTE中也是这样的。

作者

这里有笔误。是的。12个RE。后面你也理解的是对的。



含笑半步颠

我觉得不对吧.....照你这样的解释，那为什么你就知道频域也是按增序从第一个RB开始呢，是不是也得加一句“in a frequency first manner”，我觉得协议里这句话应该指明的是时域和频域谁优先的问题。

作者

多谢指正。这个我们和孙老师确认下。





红叶舞秋山

大神，理解不过来啊



含笑半步颠

我觉得有一个地方孙老师是不是理解有一点偏差？在CCE-to-REG映射那块，协议上说得是“in a time-first manner”，孙老师举的示例是频域优先的吧？

作者

孙老师写的是对的。时域first manner，目前理解是时域优先，即符号0优先，频域递增，然后再到符号1。



被水淹死的鱼

👍 赞，

---