

NR下行物理信道（PDSCH）简介

孙老师 春天工作室 9月4日

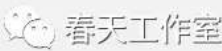


作者简介：**孙老师**（笔名），无线技术专家，多年来从事移动通信技术2G/3G/4G等相关技术研究工作和产品测试。出于个人兴趣和分享精神，目前业余时间在学习5G(NR)。所编写材料全部来自于3GPP规范和网络公开信息。这里借春天工作室(wireless-spring)平台，给同行们做一些分享，供参考并欢迎指正和垂询。

审核：春天哥



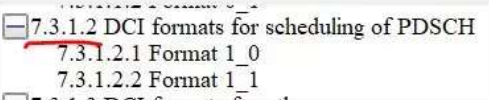
PDSCH信道



PDSCH信道概述

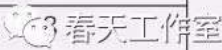
PDSCH总体特点

- PDSCH资源通过PDCCH **DCI 1_0**或**DCI 1_1**调度
- UE支持每个小区最大16个HARQ进程，每个小区根据高层参数 $nrofHARQ\text{-}processesForPDSCH$ 独立配置，默认为8
- PDSCH资源分配不能和SSB资源重叠
- PDSCH信道使用LDPC码编码
- PDSCH最多支持8层传输
- 一次最多同时调度两个TB传输块



PDSCH支持的调制方式

Modulation scheme	Modulation order Q_m
QPSK	2
16QAM	4
64QAM	6
256QAM	8



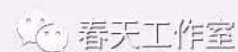
PDSCH信道时域资源分配

和LTE相比，NR中PDSCH最大的变化是引入了时域资源分配的概念；
即一次调度的PDSCH资源在时域上的分配可以动态变化，粒度可以到符号级。

PDSCH时域资源映射类型（**mapping Type**）分为：

mapping type A—在一个时隙内，PDSCH占用的符号从{0,1,2,3}符号位置开始，
符号长度**3-14**个符号（不能超过时隙边界） ***Normal CP情况下**

mapping type B—在一个时隙内，PDSCH占用的符号从0-12的符号位置开始，
但符号长度限定为{**2,4,7**}个符号（不能超过时隙边界） ***Normal CP情况下**



PDSCH信道时域资源分配

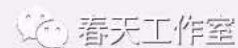
PDSCH时隙内的符号资源分配，由开始**符号位置 S** 和PDSCH分配的**符号长度 L** 决定
针对Type A和Type B，规范38214中定义了S和L值的组合定义表

Table 5.1.2.1-1: Valid S and L combinations

PDSCH mapping type	Normal cyclic prefix			Extended cyclic prefix		
	S	L	S+L	S	L	S+L
Type A	{0, 1, 2, 3} (Note 1)	{3, ..., 14}	{3, ..., 14}	{0, 1, 2, 3} (Note 1)	{3, ..., 12}	{3, ..., 12}
Type B	{0, ..., 12}	{2, 4, 7}	{2, ..., 14}	{0, ..., 10}	{2, 4, 6}	{2, ..., 12}

Note 1: S = 3 is applicable only if *dmrs-TypeA-Position* = 3

***Extended CP情况下，一个时隙一共12个符号**



PDSCH信道时域资源分配

对于mapping Type A:

分配的时域符号数较多，适用于大带宽场景。典型应用场景为，时隙内符号0-2为PDCCH，符号3-13为PDSCH，即占满整个时隙，因此type A也通常称为基于时隙的调度。

对于mapping Type B:

PDSCH起始符号位置可以灵活配置，分配符号数量少，时延短，适用于低时延场景（LL-low latency），和ultra-reliability (UR)结合情况下，实现URLLC应用。因此，Type B也通常称为基于mini slot或者non slot based调度。

一个时隙内可以调度Type A+Type B资源



PDSCH信道时域资源分配

在RRC高层信令中，PDSCH时域资源分配配置

```
PDSCH-TimeDomainResourceAllocationList ::= SEQUENCE (SIZE(1..maxNrofDL-Allocations)) OF PDSCH-TimeDomainResourceAllocation
```

```
PDSCH-TimeDomainResourceAllocation ::= SEQUENCE {
    k0                INTEGER(0..32)                OPTIONAL, -- Need S
    mappingType       ENUMERATED {typeA, typeB},
    startSymbolAndLength INTEGER (0..127)
}
```

参数配置包含**最多16个**PDSCH时域资源分配的列表

每个时域资源分配的内容包括：

k0—时隙偏移间隔

mappingType —Type A或者Type B

startSymbolAndLength—SLIV值，

表示开始符号S和长度L，满足表格定义的组合

if $(L-1) \leq 7$ then

$$SLIV = 14 \cdot (L-1) + S$$

else

$$SLIV = 14 \cdot (14 - L + 1) + (14 - 1 - S)$$

$$0 < L \leq 14 - S$$

春天工作室

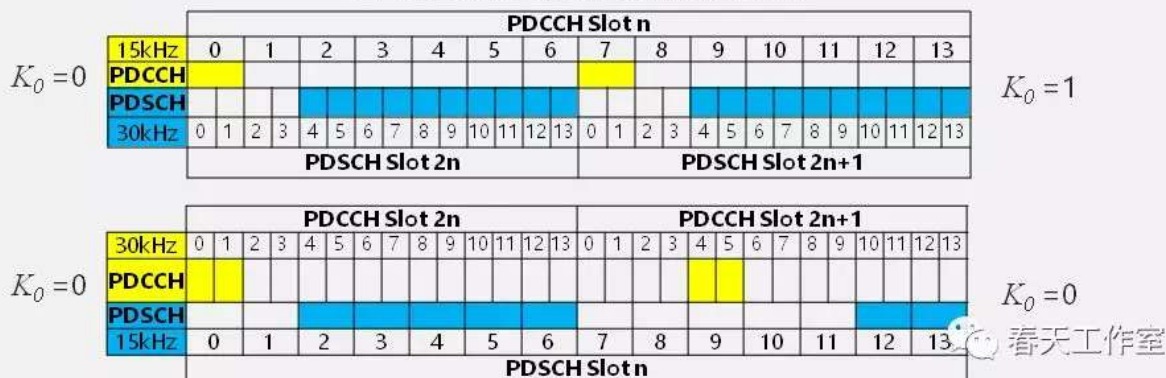
时隙偏移间隔

n 为PDCCH上发送DCI的时隙，则PDSCH所在的时隙为

$$\left\lfloor n \cdot \frac{2^{\mu_{\text{PDSCH}}}}{2^{\mu_{\text{PDCCH}}}} \right\rfloor + K_0$$

μ_{PDSCH} μ_{PDCCH} 分别为PDSCH和PDCCH子载波间隔
 K_0 时隙偏移值，对应PDSCH子载波间隔

不同子载波间隔时隙偏移示例



PDSCH时域配置

调度PDSCH的DCI 1_0或者1_1中:

Time domain resource assignment – 4 bits, 索引|0-15,

指示RRC配置参数中的PDSCH-TimeDomainResourceAllocationList位置

DCI中的
Time domain
resource assignment
(0-15)
指向对应行的时域分配



PDSCH-TimeDomainResourceAllocationList=

```
{
  PDSCH-TimeDomainResourceAllocation
  {
    k0
    mappingType
    startSymbolAndLength} 第1行
  PDSCH-TimeDomainResourceAllocation
  {
    k0
    mappingType
    startSymbolAndLength} 第2行
  .....
} //最多配置16行
```

PDSCH信道时域资源分配

规范38214中，定义了三个默认的PDSCH时域资源分配表，

同时定义了针对PDSCH不同应用情况，所使用的默认时域资源分配表。

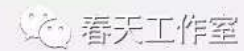
- 对承载SIB1 (type 0 CSS) 的PDSCH，默认的PDSCH时域资源分配表 (A/B/C) ；
- 对RAR (type 1 CSS) 的PDSCH，在不配置时域资源分配表时，使用默认表A；
- 对于C-RNTI调度UE的PDSCH，在不配置时域资源分配表时，使用默认表A，在配置pdsch-ConfigCommon时，使用Common配置，在配置pdsch-Config (UE专用) 时，使用UE专用配置。

• 表格详细定义见下页

配置路径示例：

BWP-DownlinkCommon->pdsch-ConfigCommon->PDSCH-TimeDomainResourceAllocationList

BWP-DownlinkDedicated->pdsch-Config->PDSCH-TimeDomainResourceAllocationList



PDSCH信道

Table 5.1.2.1.1-1: Applicable PDSCH time domain resource allocation

RNTI	PDCCH search space	SS/PBCH block and CORESET multiplexing pattern	pdsch-ConfigCommon includes pdsch-AllocationList	pdsch-Config includes pdsch-AllocationList	PDSCH time domain resource allocation to apply
SI-RNTI	Type0 common	1	-	-	Default A for normal CP
		2	-	-	Default B
		3	-	-	Default C
	Type0A common				
RA-RNTI, TC-RNTI,	Type1 common	1, 2, 3	No	-	Default A
		1, 2, 3	Yes	-	pdsch-AllocationList provided in pdschConfigCommon
P-RNTI	Type2 common				
C-RNTI, CS-RNTI	Any common search space associated with CORESET#0	1, 2, 3	No	-	Default A
		1, 2, 3	Yes	-	pdsch-AllocationList provided in pdschConfigCommon
C-RNTI, CS-RNTI	Any common search space not associated with CORESET#0 UE specific search space	1,2,3	No	No	Default A
		1,2,3	Yes	No	pdsch-AllocationList provided in pdsch-ConfigCommon
		1,2,3	No/Yes	Yes	pdsch-AllocationList provided in pdsch-Config

PDSCH信道时域默认配置A

Table 5.1.2.1.1-2: Default PDSCH time domain resource allocation A for normal CP

时域示意图

根据 38214中定义的默认表A
Default PDSCH time domain resource allocation A for normal CP
表中k0=0

*PDCCH为示例
根据实际情况配置

Row index	DMRS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	S	L	MappingType
1	2															2	12	A
	3															3	11	A
2	2															2	10	A
	3															3	9	A
3	2															2	9	A
	3															3	8	A
4	2															2	7	A
	3															3	6	A
5	2															2	5	A
	3															3	4	A
6	2															9	4	B
	3															10	4	B
7	2															4	4	B
	3															6	4	B
8	2,3															5	7	B
9	2,3															5	2	B
10	2,3															9	2	B
11	2,3															12	2	B
12	2,3															1	13	A
13	2,3															1	6	A
14	2,3															4	4	A
15	2,3															8	4	B
16	2,3															8	4	B

PDSCH信道时域默认配置B

Table 5.1.2.1.1-4: Default PDSCH time domain resource allocation B

配置B以Type B资源为主

SSB/CORESET复用 Pattern 2默认使用B

Row index	dmrs-TypeA-Position	PDSCH mapping type	K_0	S	L
1	2,3	Type B	0	2	2
2	2,3	Type B	0	4	2
3	2,3	Type B	0	6	2
4	2,3	Type B	0	8	2
5	2,3	Type B	0	10	2
6	2,3	Type B	1	2	2
7	2,3	Type B	1	4	2
8	2,3	Type B	0	2	4
9	2,3	Type B	0	4	4
10	2,3	Type B	0	6	4
11	2,3	Type B	0	8	4
12 (Note 1)	2,3	Type B	0	10	4
13 (Note 1)	2,3	Type B	0	2	7
14 (Note 1)	2	Type A	0	2	12
	3	Type A	0	3	11
15	2,3	Type B	1	2	4
16	Reserved				

Note 1: If the PDSCH was scheduled with SI-RNTI in PDCCH Type0 common search space, the UE may assume that this PDSCH resource allocation is not applied

PDSCH信道重复发送

NR中，PDSCH (PUSCH) 信道支持时隙聚合（重复）发送获得覆盖增益

在RRC高层信令中可以配置：

$pdsch\text{-}AggregationFactor$ ($pusch\text{-}AggregationFactor$) = {n2, n4, n8}

当配置时隙聚合后，UE使用相同的符号分配，在n个连续时隙上接收（发送）；
时隙聚合时，PDSCH (PUSCH) 只能使用单层发送模式；

在连续的n个时隙内，冗余RV版本定义如下：

Table 5.1.2.1-2: Applied redundancy version when $aggregationFactor_{DL} > 1$

rv_{id} indicated by the DCI scheduling the PDSCH	rv_{id} to be applied to n^{th} transmission occasion			
	$n \bmod 4 = 0$	$n \bmod 4 = 1$	$n \bmod 4 = 2$	$n \bmod 4 = 3$
0	0	2	3	1
2	2	3	1	0
3	3	1	0	2
1	1	0	2	3

PDSCH信道频域资源

和LTE类似，NR的PDSCH信道频域资源分配，支持基于位图分配和基于RIV的分配
不再支持比较复杂的LTE Type 1型支持分配

LTE Resource Allocation Type	NR Resource Allocation Type	Allocation Method
Type 0	Type 0	位图Bitmap
Type 1	N/A	位图Bitmap
Type 2	Type 1	RIV (开始RB+连续RB长度)

- 使用DCI 1_0调度的PDSCH资源，仅支持Type 1型资源（RIV）
- 资源分配类型可以通过RRC高层信令配置-- $resourceAllocation$ { $resourceAllocationType0$, $resourceAllocationType1$, $dynamicSwitch$ }
- 使用DCI 1_1调度的PDSCH资源，根据高层配置的类型决定。当配置为 $dynamicSwitch$ 时，DCI中 $Frequency\ domain\ resource\ assignment$ 最高bit用来表示分配类型：0表示Type0，1表示Type1，剩余bits表示具体资源

PDSCH信道Resource Allocation Type 0

Type0方式，RB分配按照RBG（Resource Block Groups）位图指示

RBG是一个连续VRB的集合，大小由高层参数 $rbg\text{-}Size$ 配置和BWP带宽共同决定

$rbg\text{-}Size$ *ENUMERATED*{*config1*, *config2*},

38214 Table 5.1.2.2.1-1: Nominal RBG size P

Bandwidth Part Size	Configuration 1	Configuration 2
1 – 36	2	4
37 – 72	4	8
73 – 144	8	16
145 – 275	16	16

频域资源分配--RB组（RBG）的大小最小为2个RB，最大为16个RB

春天工作室

PDSCH信道Resource Allocation Type 0

BWP_i中，RBG总数为： $N_{RBG} = \left\lceil \left(N_{BWP,i}^{size} + (N_{BWP,i}^{start} \bmod P) \right) / P \right\rceil$

因此DCI 1_1使用Type 0分配时，*Frequency domain resource assignment* 字段长度为 N_{RBG} ，Bit位图从低频到高频，RBG0在最高位

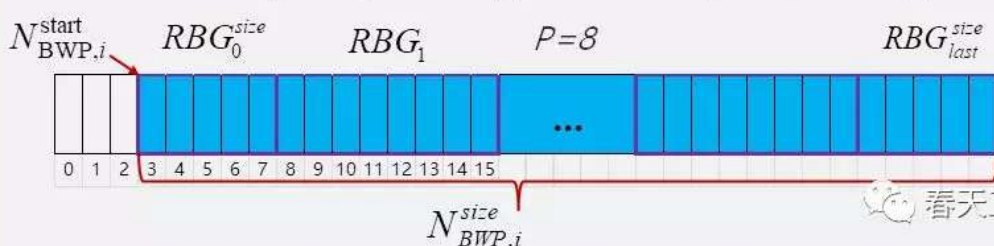
分配的第一个RBG大小为： $RBG_0^{size} = P - N_{BWP,i}^{start} \bmod P$

最后一个RBG大小为： P 或者

$$RBG_{last}^{size} = (N_{BWP,i}^{start} + N_{BWP,i}^{size}) \bmod P \quad \text{当} \quad (N_{BWP,i}^{start} + N_{BWP,i}^{size}) \bmod P > 0$$

第一个和最后一个RBG可能不是“满配”大小

示例



春天工作室

PDSCH信道Resource Allocation Type 0

PRB #	BWP Size (1-35)		BWP Size (37-72)		BWP Size (73-144)		BWP Size (145-275)	
	Config 1	Config 2	Config 1	Config 2	Config 1	Config 2	Config 1	Config 2
0	RBG 00	RBG 00	RBG 00	RBG 00	RBG 00	RBG 00	RBG 00	RBG 00
1								
2	RBG 01	RBG 01	RBG 01	RBG 01	RBG 01	RBG 01	RBG 01	RBG 01
3								
4	RBG 02	RBG 02	RBG 02	RBG 02	RBG 02	RBG 02	RBG 02	RBG 02
5								
6	RBG 03	RBG 03	RBG 03	RBG 03	RBG 03	RBG 03	RBG 03	RBG 03
7								
8	RBG 04	RBG 04	RBG 04	RBG 04	RBG 04	RBG 04	RBG 04	RBG 04
9								
10	RBG 05	RBG 05	RBG 05	RBG 05	RBG 05	RBG 05	RBG 05	RBG 05
11								
12	RBG 06	RBG 06	RBG 06	RBG 06	RBG 06	RBG 06	RBG 06	RBG 06
13								
14	RBG 07	RBG 07	RBG 07	RBG 07	RBG 07	RBG 07	RBG 07	RBG 07
15								

不同带宽
不同配置RBG示例

春天工作室

PDSCH信道Resource Allocation Type 1

Type1使用RIV (resource indication value) 指示资源, 和LTE类似

参数: 开始的VRB块 RB_{start} , 分配的连续RB长度 L_{RBs}

当 $(L_{RBs} - 1) \leq \lfloor N_{BWP}^{size} / 2 \rfloor$ 时, $RIV = N_{BWP}^{size} (L_{RBs} - 1) + RB_{start}$

Else, $RIV = N_{BWP}^{size} (N_{BWP}^{size} - L_{RBs} + 1) + (N_{BWP}^{size} - 1 - RB_{start})$

$L_{RBs} \geq 1$ 且不超过 $N_{BWP}^{size} - RB_{start}$

两种频域资源分配方式--和Type 0 (位图) 相比, Type1 (RIV) 分配的频域资源比较“精确”, 最小粒度达到RB级, 缺点是只能分配连续的RB资源, 不利于基于频选资源调度。

春天工作室

Resource Allocation Type 1示例

$$N_{BWP}^{size} = 50 \quad (L_{RBs} - 1) \leq \lfloor N_{BWP}^{size} / 2 \rfloor$$

	L _{RBs} =1			L _{RBs} =2			...	L _{RBs} =26		
RB _{Start}	0	1	49	0	1	48	...	0	1	24
RIV	0	1	49	50	51	98	...	1250	1251	1274

$$(L_{RBs} - 1) > \lfloor N_{BWP}^{size} / 2 \rfloor$$

	L _{RBs} =27			...	L _{RBs} =48			L _{RBs} =49		L _{RBs} =50
RB _{Start}	0	1	23	...	0	1	2	0	1	0
RIV	1249	1248	1226	...	199	198	197	149	148	147

PDSCH信道PRB bundling

LTE中，下行PDSCH信道在分配的全部频域上使用相同的预编码（precoding）

NR中，PDSCH信道在频域带宽很大，支持频率选择的预编码。即频域上不同PRB范围可以采用不同的预编码矩阵。

采用相同预编码矩阵的一组PRB称为一个**Precoding Resource Block Group (PRG)**

PRG大小也称为precoding granularity，第*i*个BWP内，预编码粒度用 $P'_{BWP,i}$ 表示；

$P'_{BWP,i}$ 通过高层信令配置，范围为 {2, 4, wideband}；

$P'_{BWP,i}$ 配置为wideband时，UE只能接受连续RB分配，所有资源使用相同预编码；

$P'_{BWP,i}$ 配置为2/4时，BWP内按照 $P'_{BWP,i}$ 进行RB组分段，类似前文BWP内的RBG分段

DCI 1_0调度时， $P'_{BWP,i}$ 固定为2

DCI 1_1调度时， $P'_{BWP,i}$ 和高层配置以及DCI中的字段相关，详细参见规范38214中5.1.2.3节描述

PDSCH信道VRB-PRB映射

PDSCH分配的资源（VRB）映射到PRB，支持交织和非交织两种方式：

- 当使用Type 0（位图）资源分配时，为非交织映射方式；
- 当使用Type 1（RIV）资源分配时，通过DCI 1_0或者1_1中的VRB-to-PRB mapping字段指示：

38212 Table 7.3.1.1.2-33: VRB-to-PRB mapping

Bit field mapped to index	VRB-to-PRB mapping
0	Non-interleaved
1	Interleaved

- 非交织映射时，VRB n 对应于PRB n （一一对应）。

春天工作室

PDSCH信道VRB-PRB映射

- 交织映射时，RRC高层信令配置 *vrB-ToPRB-Interleaver* { $n2, n4$ } 配置交织块大小 L_i

- BWP内按照交织bundle大小进行分割（和前文RBG/PRG原理类似）

- 交织Bundle个数为 $N_{\text{bundle}} = \left\lceil \left(N_{\text{BWP},i}^{\text{size}} + (N_{\text{BWP},i}^{\text{start}} \bmod L_i) \right) / L_i \right\rceil$

- VRB $N_{\text{bundle}} - 1$ 对应PRB $N_{\text{bundle}} - 1$

- VRB $j \in \{0, 1, \dots, N_{\text{bundle}} - 2\}$ ，映射到PRB $f(j)$

交织函数

$$\begin{aligned} f(j) &= rC + c \\ j &= cR + r \end{aligned}$$

交织函数计算参考PDCCH示例

$$\text{VRB } 0 \text{ 映射到PRB } 0 \quad \leftarrow r = 0, 1, \dots, R - 1$$

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

在BWP范围内的交织

PDSCH交织深度
固定为2
PDCCH交织深度
可配置

$$R = 2$$

$$C = \left\lfloor N_{\text{bundle}} / R \right\rfloor$$

春天工作室

PDSCH信道VRB-PRB映射

VRB-PRB交织映射示例 $N_{\text{bundle}} = 9$ $L_i = 4$

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
VRB	0	1	2	3	4	5	6	7	8
PRB	0	2	4	6	1	3	5	7	8
	0	1	2	3	4	5	6	7	8

结合前文介绍PRB bundling

交织Bundle大小和PRG size (PRB bundling) 大小之间的关系

当PRG Size配置为4时，交织Bundle大小不能为2

春天工作室

MCS/目标码率/TBS/RV确定

第一步:

UE首先按照DCI中5-bit的MCS字段确定调制阶数和目标码率 (R)，根据DCI中的RV字段确定冗余版本RV

第二步:

UE根据分配的层数，分配的PRB个数确定传输块大小TBS

NR的下行PDSCH信道编码效率不超过: 0.95

LTE的下行PDSCH信道编码效率不超过: 0.932

规范38214定义三个表格 Table 5.1.3.1-1/2/3: MCS index table 1/2/3 for PDSCH

- 表格1对应正常码率
- 表格2对应高码率
- 表格3对应低码率

选择3个表格的总体原则:

- 1 RRC高层 *mcs-Table* 配置QAM256，使用DCI 1_1调度，选表2;
- 2 RRC高层 *mcs-Table* 配置qam64LowSE，选表3;
- 3 其它情况选择表1

春天工作室

MCS Index h_{cs}	Modulation Order Q_m	Target code Rate R_x [1024]	Spectral efficiency	MCS Index h_{cs}	Modulation Order Q_m	Target code Rate R_x [1024]	Spectral efficiency
0	2	120	0.2344	0	2	120	0.2344
1	2	157	0.3066	1	2	193	0.377
2	2	193	0.377	2	2	308	0.6016
3	2	251	0.4902	3	2	449	0.877
4	2	308	0.6016	4	2	602	1.1758
5	2	379	0.7402	5	4	378	1.4766
6	2	449	0.877	6	4	434	1.6953
7	2	526	1.0273	7	4	490	1.9141
8	2	602	1.1758	8	4	553	2.1602
9	2	679	1.3262	9	4	616	2.4063
10	4	340	1.3281	10	4	658	2.5703
11	4	378	1.4766	11	6	466	2.7305
12	4	434	1.6953	12	6	517	3.0293
13	4	490	1.9141	13	6	567	3.3223
14	4	553	2.1602	14	6	616	3.6094
15	4	616	2.4063	15	6	666	3.9023
16	4	658	2.5703	16	6	719	4.2129
17	6	438	2.5664	17	6	772	4.5234
18	6	466	2.7305	18	6	822	4.8164
19	6	517	3.0293	19	6	873	5.1152
20	6	567	3.3223	20	8	682.5	5.332
21	6	616	3.6094	21	8	711	5.5547
22	6	666	3.9023	22	8	754	5.8906
23	6	719	4.2129	23	8	797	6.2266
24	6	772	4.5234	24	8	841	6.5703
25	6	822	4.8164	25	8	885	6.9141
26	6	873	5.1152	26	8	916.5	7.1602
27	6	910	5.332	27	8	948	7.4063
28	6	948	5.5547	28	2	reserved	reserved
29	2	reserved	reserved	29	4	reserved	reserved
30	4	reserved	reserved	30	6	reserved	reserved
31	6	reserved	reserved	31	8	reserved	reserved

CodeWord和TB块个数

春天工作室

RRC高层信令中配置 $\max NrofCodeWordsScheduledByDCI$ 用于指示一次DCI调度的码字个数

$\max NrofCodeWordsScheduledByDCI$ ENUMERATED {n1, n2} OPTIONAL, -- Need R

在 $\max NrofCodeWordsScheduledByDCI = 2$ ，且使用DCI 1_1调度，且 $I_{MCS} = 26$ and $rv_{id} = 1$ 时，表示调度了两个TB传输块。

其它情况下，都是单TB传输块

双传输块时，TB 1和TB 2映射到Codeword 0和Codeword 1

单传输块时，固定映射到Codeword 0

春天工作室

TBS的确定流程

PDSCH采用LDPC编码

LDPC编码中定义了base graph，可以理解为校验矩阵

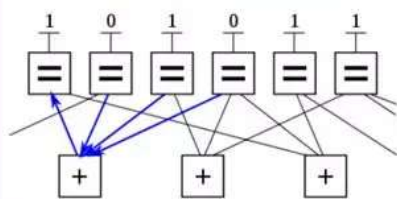
NR中支持两种base graph：Graph 1或Graph 2

LDPC编码时需要根据码块大小和码率选择相应的Graph

- 码块大小 ≤ 292 ，或码块大小 ≤ 3824 且 $R \leq 0.67$
或 $R \leq 0.25$ ，选择Graph 2
- 其他情况选择Graph 1

因此，TBS传输块大小，要根据传输信息bits数，码率，LDPC编码块大小等特点来确定，流程相对复杂一些

LDPC Graph原理 示例



$$\mathbf{z} = \mathbf{H}\mathbf{r} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

春天工作室

TBS的确定流程

UE首先计算时隙内的RE个数 N_{RE} ，步骤如下：

计算时隙内，一个PRB内的RE个数

$$N'_{RE} = N_{sc}^{RB} \cdot N_{symb}^{sh} - N_{DMRS}^{PRB} - N_{oh}^{PRB}$$

计算时隙内，分配的PRB的RE个数

$$N_{RE} = \min(156, N'_{RE}) \cdot n_{PRB}$$

$$N_{sc}^{RB} = 12$$

N_{symb}^{sh} 为一个时隙内符号个数 (14/12)

N_{DMRS}^{PRB} 为时隙/PRB内DMRS占用的符号个数

N_{oh}^{PRB} 为时隙/PRB内额外占用的符号个数
例如CSI-RS, CORESET 0
通过RRC高层信令配置，默认为0

计算中间值，信息bit数 N_{info}

$$N_{info} = N_{RE} \cdot R \cdot Q_m \cdot v$$

target code rate (R) 根据MCS表格确定

number of layers (v) 分配的层数

Q_m 调制阶数

根据 N_{info} 选择TBS

春天工作室

TBS的确定流程

当 $N_{info} \leq 3824$ 时

对 N_{info} 做一个 2^n 倍数的量化处理, 得到 N'_{info}

$$N'_{info} = \max \left(24, 2^n \left\lfloor \frac{N_{info}}{2^n} \right\rfloor \right)$$



*实际含义表示 N_{info} 的步长
分别为8/16/32的倍数

$$n = \max \left(3, \left\lfloor \log_2 (N_{info}) \right\rfloor - 6 \right) \quad n=3,4,5$$

根据 N'_{info} 的值, 在规范38214 Table 5.1.3.2-2 TBS表中匹配, 确定TBS大小,

TBS表格

Table 5.1.3.2-2

TBS for $N_{info} \leq 3824$

在表中匹配不小
于 N'_{info} 最近的
TBS

TBS递增步长
8,16,24,32...128

Index	TBS	Index	TBS	Index	TBS	Index	TBS
1	24	31	336	61	1298	91	3624
2	32	32	352	62	1320	92	3752
3	40	33	368	63	1352	93	3824
4	48	34	384	64	1416		
5	56	35	408	65	1480		
6	64	36	432	66	1544		
7	72	37	456	67	1608		
8	80	38	480	68	1672		
9	88	39	504	69	1736		
10	96	40	528	70	1800		
11	104	41	552	71	1864		
12	112	42	576	72	1928		
13	120	43	608	73	2024		
14	128	44	640	74	2088		
15	136	45	672	75	2152		
16	144	46	704	76	2216		
17	152	47	736	77	2280		
18	160	48	768	78	2408		
19	168	49	808	79	2472		
20	176	50	848	80	2536		
21	184	51	888	81	2600		
22	192	52	928	82	2664		
23	208	53	984	83	2728		
24	224	54	1032	84	2792		
25	240	55	1064	85	2856		
26	256	56	1128	86	2976		
27	272	57	1160	87	3104		
28	288	58	1192	88	3240		
29	304	59	1224	89	3368		
30	320	60	1256	90	3496		

TBS的确定流程

当 $N_{info} > 3824$ 时 $N'_{info} = \max \left(3840, 2^n \times \text{round} \left(\frac{N_{info} - 24}{2^n} \right) \right)$

其中 $n = \lfloor \log_2(N_{info} - 24) \rfloor - 5$

$n = 6, 7, 8, \dots$

$N'_{info} = 3840, 3904, 3968, 4096, 4224, \dots$

TBS确定规则

if $R \leq 1/4$

$$TBS = 8 \cdot C \cdot \left\lceil \frac{N'_{info} + 24}{8 \cdot C} \right\rceil - 24, \text{ where } C = \left\lceil \frac{N'_{info} + 24}{3816} \right\rceil$$

else,

if $N'_{info} > 8424$

$$TBS = 8 \cdot C \cdot \left\lceil \frac{N'_{info} + 24}{8 \cdot C} \right\rceil - 24, \text{ where } C = \left\lceil \frac{N'_{info} + 24}{8424} \right\rceil$$

else,

$$TBS = 8 \cdot \left\lceil \frac{N'_{info} + 24}{8} \right\rceil - 24$$

end if

end if

春天工作室

PDSCH LDPC码块分割

对于LDPC编码, 最大码块长度为

LDPC base graph 1 $K_{cb} = 8448$

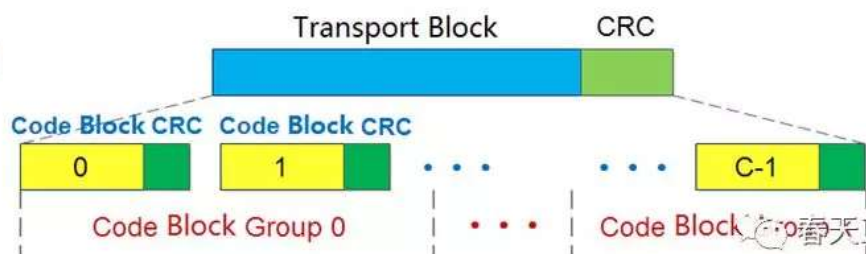
LDPC base graph 2 $K_{cb} = 3840$

因此TB块 (含CRC) 要根据LDPC码块长度分为多个码块

待编码bit $b_0, b_1, b_2, b_3, \dots, b_{B-1}$ $B > 0$ 当 $B \leq K_{cb}$ 码块个数 $C = 1$

当 $B > K_{cb}$ 码块个数 $C = \lceil B / (K_{cb} - L) \rceil$ $L = 24$ 为每个码块增加的CRC校验bits位数

示例图



春天工作室

PDSCH LDPC码块组的传输和HARQ ACK

NR中，TB块可能非常大，分割为多个码块后，码块之间可以组成码块组，HARQ ACK/NACK可以针对码块组进行。

在传输中如果出现NACK，重传时可以只重传码块组，而无需重传整个TB块。

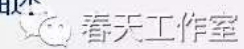
在RRC高层配置参数`codeBlockGroupTransmission`

```
PDSCH-CodeBlockGroupTransmission ::= SEQUENCE {
    maxCodeBlockGroupsPerTransportBlock    ENUMERATED {n2, n4, n6, n8},
    codeBlockGroupFlushIndicator            BOOLEAN,
    ...}
```

TB块可以最大可以分为2/4/6/8个码块组

DCI 1_1: CBG transmission information (CBGTI) –0, 2, 4, 6, or 8 bits
CBG flushing out information (CBGFI) –0 or 1 bit

CBGTI和CBGFI的详细介绍，可以见38214 5.1.7章节，这里不详细描述



PDSCH resource mapping

PDSCH资源映射目的：在PDSCH分配的资源上，有一些时频域资源（RB级/RE级）有特定用途，不能作为PDSCH资源使用。例如LTE作为NR的inband部署时。

用于发送RAR, OSI, Paging, Msg4, SIB1的PDSCH无需考虑资源映射；

资源映射分为RB粒度级别和RE粒度级别；

对于RB粒度级（RB symbol level granularity）：

- RRC高层`PDSCH-Config`中配置`rateMatchPatternToAddModList`，最多4个，针对BWP级的`RateMatchPattern`
- RRC高层`ServingCellConfigCommon`中配置`rateMatchPatternToAddModList`，最多4个，针对BWP级的`RateMatchPattern`
- 同时还需要DCI 1_1中`Rate matching indicator`字段指示是否生效

PDSCH和PDSCH的DMRS的资源，不能和RateMatchPattern的资源重叠



PDSCH resource mapping

```

RateMatchPattern ::=
    rateMatchPatternId
    patternType
    bitmaps
    resourceBlocks
    symbolsInResourceBlock
        oneSlot
        twoSlots
    periodicityAndPattern
        n2
        n4
        n5
        n8
        n10
        n20
        n40
    } OPTIONAL, -- Need S ...
    },
    controlResourceSet
    subcarrierSpacing
    mode
}
SEQUENCE {
    RateMatchPatternId,
    CHOICE {
        SEQUENCE {
            BIT STRING (SIZE (275)), 频域RB位置
            CHOICE {
                BIT STRING (SIZE (14)), 时隙符号位图
                BIT STRING (SIZE (28)) },
            CHOICE {
                BIT STRING (SIZE (2)),
                BIT STRING (SIZE (4)),
                BIT STRING (SIZE (5)),
                BIT STRING (SIZE (8)), 周期Pattern配置
                BIT STRING (SIZE (10)),
                BIT STRING (SIZE (20)),
                BIT STRING (SIZE (40))
            }
        }
    }
    ControlResourceSetId }, 按照CORESET和
    SubcarrierSpacing  SearchSpace配置 不能用于PDSCH
    ENUMERATED { dynamic, semiStatic },...
}

```

1表示资源不能用于PDSCH

春天工作室

PDSCH resource mapping

对于RE粒度级：

RRC高层*ServingCellConfigCommon*中配置*lte-CRS-ToMatchAround*

```

RateMatchPatternLTE-CRS ::=
    carrierFreqDL INTEGER (0..16383),
    carrierBandwidthDL ENUMERATED {n6, n15, n25, n50, n75, n100, spare2, spare1},
    mbsfn-SubframeConfigList EUTRA-MBSFN-SubframeConfigList OPTIONAL, -- Need M
    nrofCRS-Ports ENUMERATED {n1, n2, n4},
    v-Shift ENUMERATED {n0, n1, n2, n3, n4, n5}
}

```

RRC高层*PDSCH-Config*中配置周期性和非周期性ZP CSI-RS资源

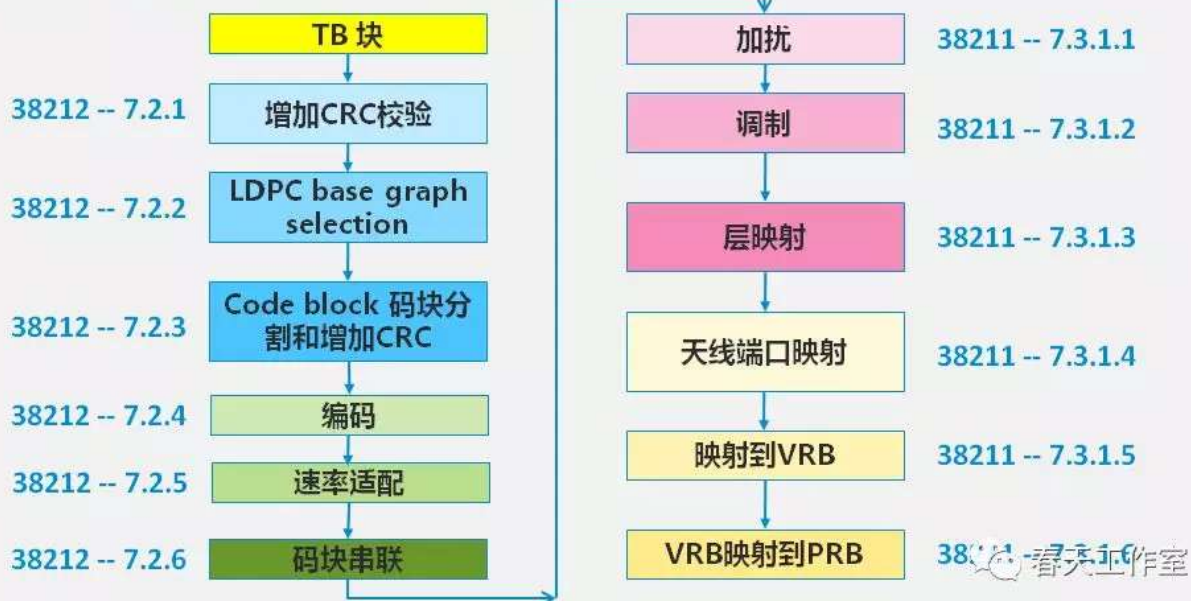
```

zp-CSI-RS-ResourceToAddModList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-Resources)) OF ZP-CSI-RS-Resource OPTIONAL, --
zp-CSI-RS-ResourceToReleaseList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-Resources)) OF ZP-CSI-RS-ResourceId OPTIONAL, --
aperiodic-ZP-CSI-RS-ResourceSetsToAddModList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-ResourceSets)) OF ZP-CSI-RS-ResourceSet OPTIONAL, --
aperiodic-ZP-CSI-RS-ResourceSetsToReleaseList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-ResourceSets)) OF ZP-CSI-RS-ResourceSetId OPTIONAL, --
sp-ZP-CSI-RS-ResourceSetsToAddModList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-ResourceSets)) OF ZP-CSI-RS-ResourceSet OPTIONAL, --
sp-ZP-CSI-RS-ResourceSetsToReleaseList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofZP-CSI-RS-ResourceSets)) OF ZP-CSI-RS-ResourceSetId OPTIONAL, --
p-ZP-CSI-RS-ResourceSet SetupRelease { ZP-CSI-RS-ResourceSet } OPTIONAL, --
...

```

PDSCH不能使用这些配置的RE

PDSCH信道总体处理流程



DM-RS for PDSCH

DM-RS 概述

DM-RS 解调参考信号：用于接收端（基站或者UE）进行信道估计，用于物理信道的解调

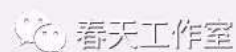
LTE中的参考信号（信道解调相关）

- 下行方向
 - ✓ 对PBCH/PCFICH/PHICH/PDCCH等物理信道，UE使用CRS
 - ✓ 对PDSCH信道，UE使用CRS，也可以配置UE-Specific RS
 - ✓ 对EPDCCH (R12) /MPDCCH (R13)，使用DM-RS
- 上行方向
 - ✓ 对PUSCH/PUCCH，基站使用DM-RS

NR中的参考信号（信道解调相关）

- 下行方向 --PBCH/PDCCH/PDSCH，使用DM-RS
- 上行方向-- PUSCH/PUCCH，基站使用DM-RS

NR中，PBCH和PDCCH的DM-RS相对简单，之前文章已有简介。
本节主要介绍PDSCH的DM-RS（PUSCH的DM-RS有较大相似之处）



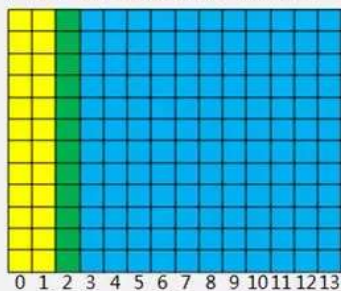
PDSCH的DM-RS 时域 特性

按照DM-RS在时隙内的位置分布，可以分为：

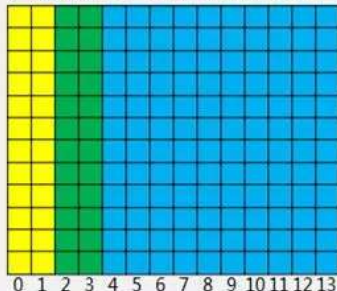
- Front-loaded DM-RS**：前置DM-RS，在时隙内，位于PDSCH符号的前面，占用1-2个符号
- Additional DM-RS**：附加DM-RS，在时隙内，位于PDSCH符号的中间，占用1-2个符号--适用于UE移动的场景，需要时域上更多的DM-RS进行信道估计

以下仅为DM-RS时域示意图（频域情况后文描述）

■单符号 前置DM-RS



■双符号 前置DM-RS



■前置和附加DM-RS



PDSCH的DM-RS 时域 特性

对于前置DM-RS，根据PDSCH mapping Type 类型：

•PDSCH mapping Type A (PDSCH起始位置0-3， 占用3-14个符号)

前置DM-RS在时隙内的起始位置为2或者3，

默认为2，在RRC层配置参数dmrs-TypeA-Position=3时，起始位置为3

前置DM-RS在时隙内可以占用1个或者2个符号，由RRC层配置参数DMRS-DownlinkConfig中的maxLength 和DCI中相关字段决定

•PDSCH mapping Type B (PDSCH起始位置0-12， 占用2/4/7个符号)

前置DM-RS在位于PDSCH开始符号位置，如果正好遇到CORESET资源，则往后推到最近的符号（不能靠比较后的位置，否则终端无法解调了）

对于PDSCH（2/4个符号）仅支持单符号DM RS

春天工作室

Additional DM-RS 时域

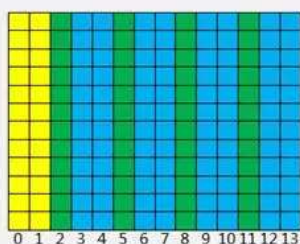
对于Additional DM-RS，RRC层配置参数DMRS-DownlinkConfig中：

dmrs-AdditionalPosition

ENUMERATED {pos0, pos1, pos3} -- 不配置时默认为pos2

单前置+Additional
DM-RS 的组合：可以是
1+0, 1+1, 1+1+1,
1+1+1+1

单前置DM-RS
位置对应表



Duration in symbols	DM-RS positions \bar{l}							
	PDSCH mapping type A dmrs-AdditionalPosition				PDSCH mapping type B dmrs-AdditionalPosition			
	0	1	2	3	0	1	2	3
2	~	~	~	~	l_0	l_0	~	~
3	l_0	l_0	l_0	l_0	~	~	~	~
4	l_0	l_0	l_0	l_0	l_0	l_0	~	~
5	l_0	l_0	l_0	l_0	~	~	~	~
6	l_0	l_0	l_0	l_0	l_0	$l_0, 4$	1+1	~
7	l_0	l_0	l_0	l_0	l_0	$l_0, 4$	~	~
8	l_0	$l_0, 7$	$l_0, 7$	$l_0, 7$	1+1	~	~	~
9	l_0	$l_0, 7$	$l_0, 7$	$l_0, 7$	~	~	~	~
10	l_0	$l_0, 9$	$l_0, 6, 9$	$l_0, 6, 9$	~	~	~	~
11	l_0	$l_0, 9$	$l_0, 6, 9$	$l_0, 6, 9$	1+1+1	~	~	~
12	l_0	$l_0, 9$	$l_0, 6, 9$	$l_0, 5, 8, 11$	~	~	~	~
13	l_0	$l_0, 11$	$l_0, 7, 11$	$l_0, 5, 8, 11$	1+1+1+1	~	~	~
14	l_0	$l_0, 11$	$l_0, 7, 11$	$l_0, 5, 8, 11$	~	~	~	~

时域示例

春天工作室

Additional DM-RS 时域

双前置+Additional DM-RS 的组合：可以是 2+0, 2+2

Type B符号资源少，不支持2+2这种组合

双前置DM-RS 位置对应表

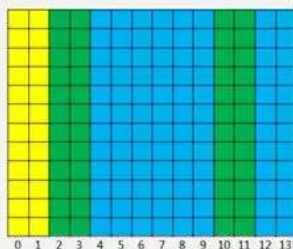


Table 7.4.1.1.2-4: PDSCH DM-RS positions \bar{l} for double-symbol DM-RS.

Duration in symbols	DM-RS positions \bar{l}					
	PDSCH mapping type A			PDSCH mapping type B		
	dmrs-AdditionalPosition			dmrs-AdditionalPosition		
	0	1	2	0	1	2
<4						
4	l_0	l_0				
5	l_0	l_0				
6	l_0	l_0		l_0	l_0	
7	l_0	l_0		l_0	l_0	
8	l_0	l_0				
9	l_0	l_0				
10	l_0	$l_0, 8$				
11	l_0	$l_0, 8$				
12	l_0	$l_0, 8$	2+2			
13	l_0	$l_0, 10$				
14	l_0	$l_0, 10$				

时域示例

春天工作室

DM-RS配置类型

```

DMRS-DownlinkConfig ::= SEQUENCE {
    dmrs-Type                ENUMERATED {type2}                OPTIONAL, -- Need S
    dmrs-AdditionalPosition  ENUMERATED {pos0, pos1, pos3}      OPTIONAL, -- Need R
    maxLength                ENUMERATED {len2}                OPTIONAL, -- Need S
    scramblingID0            INTEGER (0..65535)                OPTIONAL, -- Need S
    scramblingID1            INTEGER (0..65535)                OPTIONAL, -- Need S
    phaseTrackingRS          SetupRelease { PTRS-DownlinkConfig } OPTIONAL, -- Need M
    ...
}

```

PDSCH (PUSCH) 的DM-RS支持两种配置类型 **Type 1**和**Type 2** (默认Type 1)

Type 1和Type 2在频域资源映射不同

$$a_{k,l}^{(p,\mu)} = \beta_{\text{PDSCH}}^{\text{DMRS}} w_f(k') w_t(l') r(2n+k')$$

规范38211中
对DM-RS资源映射的定义

$$k = \begin{cases} 4n + 2k' + \Delta & \text{Configuration type 1} \\ 6n + k' + \Delta & \text{Configuration type 2} \end{cases}$$

$$k' = 0, 1$$

$$l = \bar{l} + l'$$

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

春天工作室

DM-RS配置类型

对于Type 1和Type 2 DM-RS，分为多个CDM Group

即多个天线port 端口的DM-RS，可以通过时频域码分复用在一个DM-RS物理资源中

规范38211中，对Type 1配置的定义

Table 7.4.1.1.2-1: Parameters for PDSCH DM-RS configuration type 1.

p	CDM group λ	Δ	$w_t(k')$		$w_t(l')$	
			$k'=0$	$k'=1$	$l'=0$	$l'=1$
1000	0	0	+1	+1	+1	+1
1001	0	0	+1	-1	+1	+1
1002	1	1	+1	+1	+1	+1
1003	1	1	+1	-1	+1	+1
1004	0	0	+1	+1	+1	-1
1005	0	0	+1	-1	+1	-1
1006	1	1	+1	+1	+1	-1
1007	1	1	+1	-1	+1	-1

单符号支持天线端口1000-1003

双符号支持天线端口1000-1007

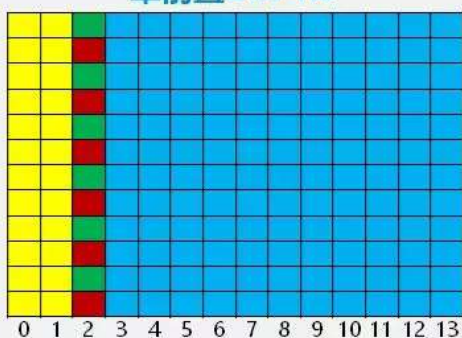
频域码分

时域码分

DM-RS配置Type 1

Type 1时频域，CDM组，天线端口复用示例

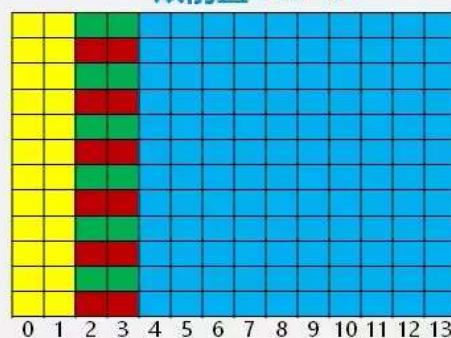
单前置DM-RS



CDM组0, 天线端口1000/1001
 $k=0,2,4,6,8,10$

CDM组1, 天线端口1002/1003
 $k=1,3,5,7,9,11$

双前置DM-RS



CDM组0, 天线端口1000/1001/1004/1005
 $k=0,2,4,6,8,10$

CDM组1, 天线端口1002/1003/1006/1007
 $k=1,3,5,7,9,11$

DM-RS配置类型

和Type 1相比, Type 2 DM-RS降低了在频域的密度, 支持更多的天线端口复用
规范38211中, 对Type 2配置的定义

Table 7.4.1.1.2-2: Parameters for PDSCH DM-RS configuration type 2.

p	CDM group λ	Δ	$w_f(k')$		$w_t(l')$	
			$k'=0$	$k'=1$	$l'=0$	$l'=1$
1000	0	0	+1	+1	+1	+1
1001	0	0	+1	-1	+1	+1
1002	1	2	+1	+1	+1	+1
1003	1	2	+1	-1	+1	+1
1004	2	4	+1	+1	+1	+1
1005	2	4	+1	-1	+1	+1
1006	0	0	+1	+1	+1	-1
1007	0	0	+1	-1	+1	-1
1008	1	2	+1	+1	+1	-1
1009	1	2	+1	-1	+1	-1
1010	2	4	+1	+1	+1	-1
1011	2	4	+1	-1	+1	-1

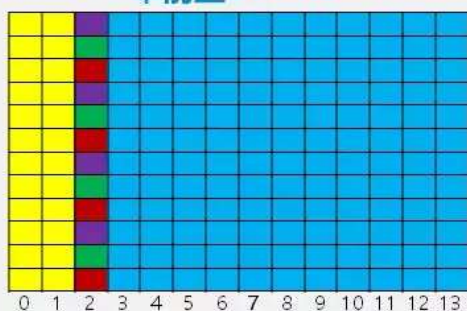
单符号支持天线端口1000-1005
双符号支持天线端口1000-1011

频域码分

时域码分

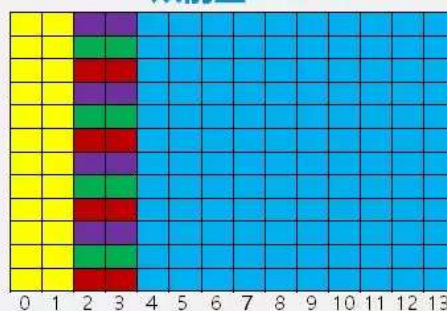
DM-RS配置Type 2

单前置DM-RS



- CDM组0, 天线端口1000/1001
 $k=0,3,6,9$
- CDM组1, 天线端口1002/1003
 $k=1,4,7,10$
- CDM组2, 天线端口1004/1005
 $k=2,5,8,11$

双前置DM-RS



- CDM组0, 天线端口1000/1001/1006/1007
 $k=0,3,6,9$
- CDM组1, 天线端口1002/1003/1008/1009
 $k=1,4,7,10$
- CDM组2, 天线端口1004/1005/1010/1011
 $k=2,5,8,11$

DCI中的Antenna port字段

对于DCI 1_0调度，不含Antenna port字段，UE使用默认的DM-RS配置

Type 1 单前置DM-RS，单天线port 1000，

Additional DM-RS默认配置为pos 2，实际DM-RS取决于PDSCH的符号长度

对于DCI 1_1调度，Antenna port字段，长度为4, 5, or 6 bits，字段含义在规范38212的Tables 7.3.1.2.2-1/2/3/4表中定义。

这四个表格定义，单/双Codeword，不同DM-RS type，不同前置DMRS长度等情况下，DM-RS ports的分配规则，以及**Number of DMRS CDM group(s) without data**。

天线端口 $\{p_0, \dots, p_{v-1}\}$ ， v 为层数

春天工作室

Antenna port示例—Type 1

Table 7.3.1.2.2-1: Antenna port(s) (1000 + DMRS port), $dmrs\text{-}Type=1, maxLength=1$

One Codeword: Codeword 0 enabled, Codeword 1 disabled		
Value	Number of DMRS CDM group(s) without data	DMRS port(s)
0	1	0
1	1	1
2	1	0,1
3	2	0
4	2	1
5	2	2
6	2	3
7	2	0,1
8	2	2,3
9	2	0-2
10	2	0-3
11	2	0,2
12-15	Reserved	Reserved

PDSCH可以使用

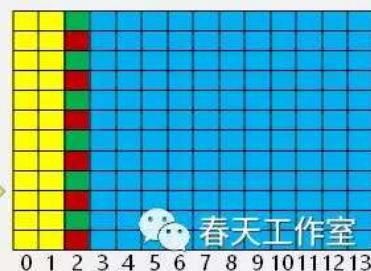
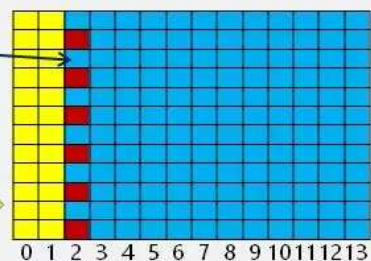
CDM组0
天线端口1000或1001

分配1个端口

CDM组0
天线端口1000/1001

CDM组1
天线端口1002/1003

分配1/2/3/4个端口



春天工作室

Antenna port示例—Type 2

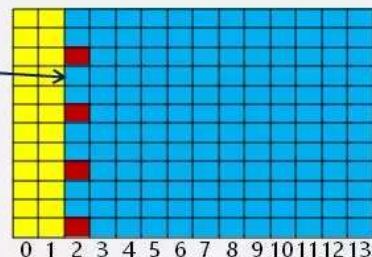
Table 7.3.1.2.2-4: Antenna port(s) (1000 + DMRS port), dmrs-Type=2, maxLength=2

One codeword: Codeword 0 enabled, Codeword 1 disabled			
Value	Number of DMRS CDM group(s) without data	DMRS port(s)	Number of front-load symbols
2	1	0,1	1

PDSCH可以使用

CDM组0
天线端口1000或1001

分配1个端口



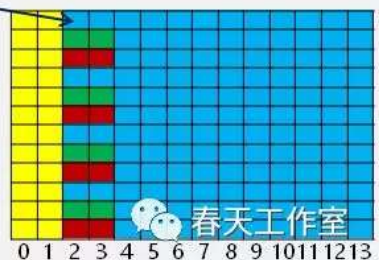
Two Codewords: Codeword 0 enabled, Codeword 1 enabled			
Value	Number of DMRS CDM group(s) without data	DMRS port(s)	Number of front-load symbols
5	2	0,1,2,3,6, 7,8,9	2

PDSCH可以使用

CDM组0 天线端口
1000/1001/1006/1007

CDM组1 天线端口
1002/1003/1008/1009

分配1个端口



其他未竟问题，欢迎联系微信
icehero312进行进一步的讨论和切磋。



wireless-spring(春天工作室)

(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。下一篇猜猜会是什么？ --- PUCCH/PUSCH啦 ----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 3779 38

精选留言 写留言

 Mark 14

 郭宝 1

今天要差一些SA接入的资料，多方查找，未果，忽然想起 春天工作室，翻了翻上面几期，果然有一篇，真实如获至宝！
想想以前还劝 春天老师 公众号做得太严肃了，会影响阅读效果。
今天看起来，做一个严肃的、专业的平台，厥功至伟！

作者
宝哥客气了。多谢一直以来的支持呀。3年了，没办法，开始的风格也想变，太严肃了，后来逐渐风格定型了，大家心里的定位我们就这样的，哈哈，也没法变了，另外，也就只擅长做一些专业性方面的。所以就行程了现在的风格

 沈工 1
快乐分享，精品好文，思路清晰，恰逢适时，受益匪浅，期待后续，多谢春天！



丽江的云_Gary

1

最后两张ppt对应哪个协议的table?



悟不空

1

干货满满



tianbin

内容很详尽,
