

NR上行物理信道（PUCCH/PUSCH）简介

原创：孙老师 春天工作室 9月13日

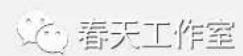


作者简介：**孙老师**（笔名），无线技术专家，多年来从事移动通信技术2G/3G/4G等相关技术研究工作和产品测试。出于个人兴趣和分享精神，目前业余时间在学习5G(NR)。所编写材料全部来自于3GPP规范和网络公开信息。这里借春天工作室(wireless-spring)平台，给同行们做一些分享，供参考并欢迎指正和垂询。

审核：春天哥



PUCCH信道



PUCCH信道概述

和LTE类似，NR中PUCCH物理信道用来发送上行控制信息Uplink Control Information (UCI)。（UCI也可以在PUSCH信道上发送）

UCI的内容包括：信道状态反馈CSI，HARQ的ACK/NACK，调度请求Scheduling Request (SR)及组合；

NR中支持5种格式PUCCH，根据PUCCH信道占用时域符号长度分为

- **短PUCCH：1-2 个符号，PUCCH 0, PUCCH 2**
- **长PUCCH：4-14个符号，PUCCH 1, PUCCH 3, PUCCH 4**

使用短PUCCH能够支持更快速的HARQ 应答/信道状态反馈，可用于超低时延场景；

5种PUCCH格式占用符号数，携带的信息bits数，在规范38211中定义，见下页：



PUCCH信道概述

PUCCH信道格式定义 Table 6.3.2.1-1: PUCCH formats.

PUCCH format	Length in OFDM symbols $N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH}}$	Number of bits
0	1 – 2	≤ 2
1	4 – 14	≤ 2
2	1 – 2	> 2
3	4 – 14	> 2
4	4 – 14	> 2

其中长格式PUCCH信道1, 3, 4可以支持时隙内和时隙间跳频，短格式PUCCH信道0,2可以支持时隙内跳频（2个符号时）

当使用时隙内跳频时，第一跳发送的符号个数为 $\lfloor N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH}}/2 \rfloor$

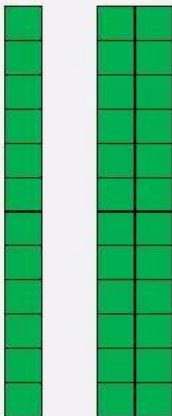
在一个时隙内，可以发1-2个PUCCH，至少有一个为PUCCH 0或者PUCCH 2

PUCCH 0

PUCCH 0用于发送HARQ的ACK/NACK反馈，也可以携带SR信息

PUCCH 0发送的信息bit为1或者2个（对应调度的PDSCH信道两个Codeword时）

PUCCH 0在频域上占用一个RB，在时域上占用1-2个符号



PUCCH 0 高层相关配置参数

```
PUCCH-format0 ::= SEQUENCE {
    initialCyclicShift    INTEGER(0..11),
    nrofSymbols           INTEGER(1..2),
    startingSymbolIndex   INTEGER(0..13)
}
```

initialCyclicShift: 初始循环移位

nrofSymbols: 符号个数

startingSymbolIndex: 开始符号索引，时隙内任意位置

PUCCH 0

NR中，使用PUCCH 0 发送ACK/NACK反馈（0-NACK，1-ACK）时，信息bit不需要经过编码->调制->映射到物理资源的过程。

ACK和NACK信息通过选择PUCCH 序列循环移位表示。规范38213中定义如下：

一个HARQ-ACK信息bit时

Table 9.2.3-3: Mapping of values for one HARQ-ACK information bit to sequences for PUCCH format 0

HARQ-ACK Value ^a	0 ^a	1 ^a
Sequence cyclic shift ^a	$m_{CS} = 0$ ^a	$m_{CS} = 6$ ^a

两个HARQ-ACK信息bit时

Table 9.2.3-4: Mapping of values for two HARQ-ACK information bits to sequences for PUCCH format 0

HARQ-ACK Value ^a	{0, 0} ^a	{0, 1} ^a	{1, 1} ^a	{1, 0} ^a
Sequence cyclic shift ^a	$m_{CS} = 0$ ^a	$m_{CS} = 3$ ^a	$m_{CS} = 6$ ^a	$m_{CS} = 9$ ^a

PUCCH 0序列

PUCCH 0, 1, 3, 4都使用低峰均比的序列 $r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n) = e^{j\alpha n} \bar{r}_{u,v}(n)$, $0 \leq n < M_{ZC}$

其中， α 为循环移位cyclic shift,

$\bar{r}_{u,v}(n)$ 为基序列 $\bar{r}_{u,v}(n) = e^{j\varphi(n)\pi/4}$, $0 \leq n \leq M_{ZC} - 1$

从基序列根据 α 和 δ 不同的值生成多个序列

序列长度 $M_{ZC} = mN_{sc}^{RB} / 2^\delta$, 对于PUCCH 0,1,3,4, $\delta=0$

PUCCH 0, 序列长度 $M_{ZC} = 12$, 映射到频域上12个子载波 (RB)

一共有12个频域循环移位;

当使用1 bit HARQ-ACK反馈时, 最多支持6个UE复用

当使用2 bits HARQ-ACK反馈时, 最多支持3个UE复用

PUCCH 0基序列

其中基序列 $\varphi(n)$ 在 38211 的表 5.2.2.2-1 到 5.2.2.2-4 定义

Table 5.2.2.2-2: Definition of $\varphi(n)$ for $M_{\text{ZC}} = 12$.

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

定义表格
示例

$$\bar{r}_{u,v}(n) = e^{j\varphi(n)\pi/4}$$

基序列分成30个组 $u \in \{0, 1, \dots, 29\}$, 对于PUCCH 0, 每组一个基序列 $v=0$

序列组 u 的值来根据公式 $u = (f_{\text{gh}} + f_{\text{ss}}) \bmod 30$ 确定;

其中, $f_{\text{gh}}, f_{\text{ss}}$ 根据高层相关配置参数来确定

春天工作室

PUCCH GroupHopping

RRC高层
配置参数

pucch-GroupHopping
hoppingId

ENUMERATED { *neither*, *enable*, *disable* },
INTEGER (0..1024)

n_{ID}

$$u = (f_{\text{gh}} + f_{\text{ss}}) \bmod 30$$

当 *pucch-GroupHopping* = *neither* 时 $f_{\text{gh}} = 0, f_{\text{ss}} = n_{\text{ID}} \bmod 30, v = 0$

序列组和序
列不变

当 *pucch-GroupHopping* = *enable* 时 $f_{\text{gh}} = \left(\sum_{m=0}^7 2^m c(8(2n_{\text{s,f}}^{\mu} + n_{\text{hop}}) + m) \right) \bmod 30$

$$f_{\text{ss}} = n_{\text{ID}} \bmod 30$$

$$v = 0$$

序列组跳变
序列不变

当 *pucch-GroupHopping* = *disable* 时 $f_{\text{gh}} = 0$

对于PUCCH 0, 1, 3, 4, PUCCH-GroupHopping理解为PUCCH基序列组和序列的跳变, 并非跳频

$$f_{\text{ss}} = n_{\text{ID}} \bmod 30$$

$$v = c(2n_{\text{s,f}}^{\mu} + n_{\text{hop}})$$

序列组不变
序列跳变
(短序列 $v=0$, 长序列时 $v=0, 1$
根据序列长度决定)

春天工作室

PUCCH 0序列

确定了PUCCH 0基序列后，还需要确定循环移位 α ，PUCCH的序列就完全确定了

$$r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n) = e^{j\alpha n} \bar{r}_{u,v}(n)$$

$$\text{循环移位 } \alpha = \frac{2\pi}{N_{\text{sc}}^{\text{RB}}} \left((m_0 + m_{\text{cs}} + n_{\text{cs}}(n_{\text{s,f}}^{\mu}, l + l')) \bmod N_{\text{sc}}^{\text{RB}} \right)$$

初始循环移位 RRC层配置
 根据HARQ应答信息确定
 l 为OFDM相对符号PUCCH发送的第一个符号 $l=0$
 l' 为相对于第一个符号的索引

initialCyclicShift
INTEGER(0..11),

$$n_{\text{cs}}(n_{\text{s,f}}^{\mu}, l) = \sum_{m=0}^7 2^m c(14 \cdot 8 n_{\text{s,f}}^{\mu} + 8l + m)$$

伪随机序列 $c(i)$
38211中 5.2.1定义

无线帧内的
时隙号

春天工作室

PUCCH 0 资源映射

PUCCH 0映射到物理资源

$$x(l \cdot N_{\text{sc}}^{\text{RB}} + n) = r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n)$$

$$n = 0, 1, \dots, N_{\text{sc}}^{\text{RB}} - 1$$

$$l = \begin{cases} 0 & \text{for single-symbol PUCCH transmission} \\ 0, 1 & \text{for double-symbol PUCCH transmission} \end{cases}$$

映射顺序先频域 k ，再时域 l

PUCCH 0 天线端口号 $p = 2000$

PUCCH 0/1/2/3/4 使用的天线端口号都是 $p = 2000$

从资源映射和PUCCH 0序列特点可以看出，
PUCCH 0时域资源配置1个或者2个符号，不影响复用的UE个数
当配置为2个符号时，可以提升ACK反馈的可靠性

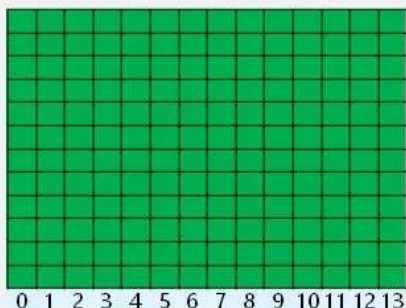
春天工作室

PUCCH 1 概述

PUCCH 1属于长PUCCH，在时域占用符号个数4-14个，承载的信息bit最多2个，用于HARQ的ACK/NACK反馈，也可以携带SR信息。

PUCCH 1在频域上占用1个RB。

PUCCH 1 资源示意图



PUCCH 1 高层相关配置参数

```
PUCCH-format1 ::= SEQUENCE {
    initialCyclicShift    INTEGER(0..11),
    nrofSymbols           INTEGER(4..14),
    startingSymbolIndex   INTEGER(0..10),
    timeDomainOCC         INTEGER(0..6)
}
```

initialCyclicShift: 初始循环移位

nrofSymbols: 符号个数4-14

startingSymbolIndex: 开始符号索引

timeDomainOCC: 时域OCC配置

春天工作室

PUCCH 1 信道

PUCCH 1 的ACK/NACK反馈信息 1或者2 bits--1表示ACK, 0表示NACK ;

采用 $\pi/2$ BPSK (1 bit) 和QPSK (2 bits) 调制, 调制后为一个复值符号

PUCCH 1 使用的序列和PUCCH 0一样 $r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n) = e^{j\alpha n} \bar{r}_{u,v}(n)$, $0 \leq n < M_{ZC}$
也支持PUCCH-GroupHopping 配置

调制后的复值符号, 映射到序列后 $y(n) = d(0) \cdot r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n)$

1 bit ACK/NACK $\xrightarrow{\pi/2 \text{ BPSK}}$

2 bits ACK/NACK $\xrightarrow{\text{QPSK}}$

$d(0)$ 复值符号

$n = 0, 1, \dots, N_{sc}^{RB} - 1$

春天工作室

PUCCH 1 正交序列

和PUCCH 0不同的是，PUCCH 1 支持基于时域正交序列的复用

$$z\left(\underbrace{m'N_{sc}^{RB}N_{SF,0}^{PUCCH,1} + mN_{sc}^{RB}}_{z(n) \text{ 映射到物理资源}} + n\right) = w_i(m) \cdot y(n)$$

$$n = 0, 1, \dots, N_{sc}^{RB} - 1$$

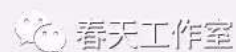
$$m = 0, 1, \dots, N_{SF,m'}^{PUCCH,1} - 1$$

$$m' = \begin{cases} 0 & \text{no intra-slot frequency hopping} \\ 0, 1 & \text{intra-slot frequency hopping enabled} \end{cases}$$

正交序列 $w_i(m)$

i 对应RRC参数配置中的
timeDomainOCC : 时域OCC配置 (0-6)

正交序列定义见下页表格



PUCCH 1 正交序列

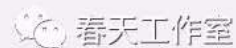
规范38211中定义的PUCCH 1 正交序列

Table 6.3.2.4.1-2: Orthogonal sequences $w_i(m) = e^{j2\pi\phi(m)/N_{SF}}$ for PUCCH format 1.

$N_{SF,m'}^{PUCCH,1}$	$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$	$i = 4$	$i = 5$	$i = 6$
1	[0]	~	~	~	~	~	~
2	[0 0]	[0 1]	~	~	~	~	~
3	[0 0 0]	[0 1 2]	[0 2 1]	~	~	~	~
4	[0 0 0 0]	[0 2 0 2]	[0 0 2 2]	[0 2 2 0]	~	~	~
5	[0 0 0 0 0]	[0 1 2 3 4]	[0 2 4 1 3]	[0 3 1 4 2]	[0 4 3 2 1]	~	~
6	[0 0 0 0 0 0]	[0 1 2 3 4 5]	[0 2 4 0 2 4]	[0 3 0 3 0 3]	[0 4 2 0 4 2]	[0 5 4 3 2 1]	~
7	[0 0 0 0 0 0 0]	[0 1 2 3 4 5 6]	[0 2 4 6 1 3 5]	[0 3 6 2 5 1 4]	[0 4 1 5 2 6 3]	[0 5 3 1 6 4 2]	[0 6 5 4 3 2 1]

正交序列长度和 $N_{SF,m'}^{PUCCH,1}$ 相关，最大为7

$N_{SF,m'}^{PUCCH,1}$ 见下页定义



PUCCH 1 序列

Table 6.3.2.4.1-1: Number of PUCCH symbols and the corresponding $N_{SF,m'}^{PUCCH,1}$

nrofSymbols:
符号个数4-14

PUCCH length, $N_{symb}^{PUCCH,1}$	$N_{SF,m'}^{PUCCH,1}$		
	No intra-slot hopping $m' = 0$	Intra-slot hopping ^a	
		$m' = 0$	$m' = 1$
4	2	1	1
5	2	1	1
6	3	1	2
7	3	1	2
8	4	2	2
9	4	2	2
10	5	2	3
11	5	2	3
12	6	3	3
13	6	3	3
14	7	3	4

PUCCH 1配置14个符号，在不开时隙内跳频时，时域正交序列长度最大为7
(时域OCC配置0-6)，一个RB最多支持 $12 \times 7 = 84$ 个UE

春天工作室

PUCCH 1 的DM-RS

PUCCH 1 需要解调参考信号DM-RS

DM-RS序列 $z(m'N_{sc}^{RB}N_{SF,0}^{PUCCH,1} + mN_{sc}^{RB} + n) = w_l(m) \cdot r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n)$

$$n = 0, 1, \dots, N_{sc}^{RB} - 1$$

$$m = 0, 1, \dots, N_{SF,m'}^{PUCCH,1} - 1$$

$$m' = \begin{cases} 0 & \text{no intra-slot frequency hopping} \\ 0, 1 & \text{intra-slot frequency hopping enabled} \end{cases}$$

在Table 6.4.1.3.1.1-1定义和PUCCH 1定义表格相似

DM-RS资源映射 $a_{k,l}^{(p,\mu)} = \beta_{PUCCH,1} z(m)$

$$l = 0, 2, 4, \dots$$

即PUCCH 1 DM-RS映射在偶数符号位置

从符号0开始，结束位置和配置的PUCCH 1符号个数相关

春天工作室

PUCCH 1 资源示例—不跳频时

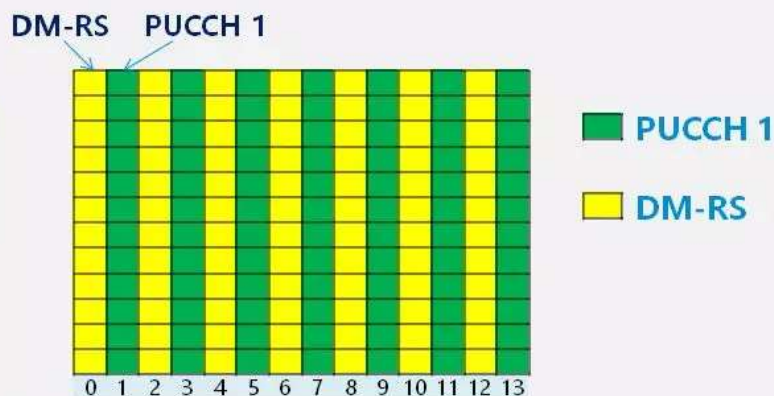
PUCCH 1 资源映射时，不能使用DM-RS的资源（即DM-RS优先）

示例：

PUCCH 1 符号个数14

开始符号索引0

非时隙内跳频时



在非时隙内跳频时，
一个RB（14 符号时）最多支持 $12 \times 7 = 84$ 个UE
12个循环移位，最多7个正交序列

春天工作室

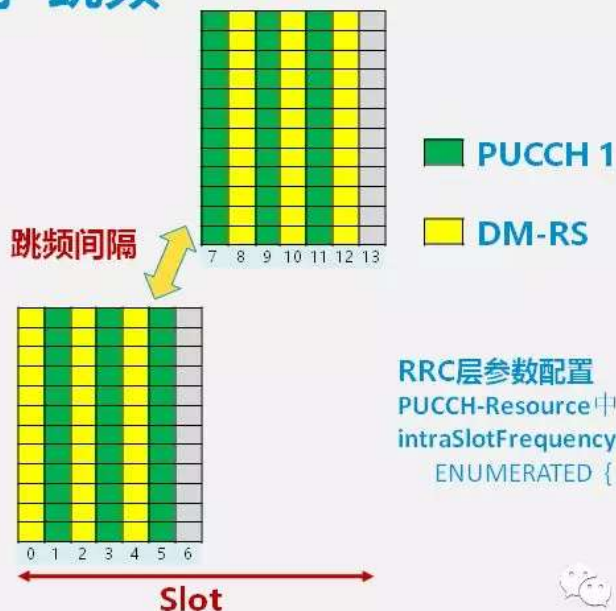
PUCCH 1 资源示例--跳频

示例：

PUCCH 1 符号个数14

开始符号索引0

时隙内跳频时



时隙内跳频时，
一个RB（14 符号时）最
多支持 $12 \times 3 = 36$ 个UE
12个循环移位
最多3个正交序列

RRC层参数配置
PUCCH-Resource中
`intraSlotFrequencyHopping`
ENUMERATED { enabled } 可选

春天工作室

SR的发送—PUCCH 0

和LTE类似，NR中支持UE发送SR（Scheduling Request）调度请求机制
SR本身并不携带额外的信息，可以理解为就是一个调度请求的标志

SR发送根据RRC高层配置参数 *schedulingRequestResourceId* 确定
SR可以使用PUCCH 0或者PUCCH 1信道发送。

SR发送机会，由RRC层配置的周期时刻等参数确定，在发送机会上，只有当UE有Positive SR，即UE请求调度时才发送。

当使用PUCCH 0发送SR时， m_0 和发送HARQ-ACK一样，从高层配置参数获得
并且 $m_{CS} = 0$

HARQ-ACK和SR复用—PUCCH 0

如果在一个时隙内，UE的SR发送时刻和发送HARQ-ACK的时刻重叠了，UE可以在PUCCH 0上发送SR。

如果UE需要发送的为Positive SR（请求SR），通过循环移位的方式指示HARQ-ACK信息和SR。

在规范38213中的Table 9.2.5-1 和Table 9.2.5-2中定义

- Table 9.2.5-1: Mapping of values for one HARQ-ACK information bit and positive SR to sequences for PUCCH format 0

HARQ-ACK Value ^a	0 ^a	1 ^a
Sequence cyclic shift ^a	$m_{CS} = 3$ ^a	$m_{CS} = 9$ ^a

- Table 9.2.5-2: Mapping of values for two HARQ-ACK information bits and positive SR to sequences for PUCCH format 0

HARQ-ACK Value ^a	{0, 0} ^a	{0, 1} ^a	{1, 1} ^a	{1, 0} ^a
Sequence cyclic shift ^a	$m_{CS} = 1$ ^a	$m_{CS} = 4$ ^a	$m_{CS} = 7$ ^a	$m_{CS} = 10$ ^a

SR发送—PUCCH 1

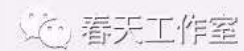
当使用PUCCH 1发送SR时, $b(0) = 0$,
即相当于一个单bit位=0 的HARQ应答

HARQ-ACK和SR复用 in PUCCH 1时

当在同一个时隙内, UE要使用PUCCH 1发送Positive SR和最多2 bits HARQ-ACK应答时, UE使用SR对应的PUCCH 1资源发送SR

*个人理解: 在此情况下, 并没有复用SR和HARQ-ACK信息, UE忽略HARQ-ACK发送, 直接发送SR。在基站实现的调度中, 应该避免此情况

当在同一个时隙内, UE要使用PUCCH 1发送Negative SR和最多2 bits HARQ-ACK应答时, UE使用HARQ-ACK对应的PUCCH 1资源发送HARQ-ACK信息。



PUCCH 2/3/4 概述

PUCCH 0和1所携带的信息bits少, UCI bits ≤ 2 bits

PUCCH 2/3/4所携带的信息bits较多, UCI bits > 2 bits, 信息bit需要经过编码等过程

当UCI信息长度 (可能包含CRC) 在3-11bits时, 使用Reed Muller code

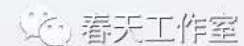
当大于11bits时, 使用著名的**Polar Code**编码。

HARQ-ACK/SR信息, 也可以使用PUCCH 2/3/4来发送。

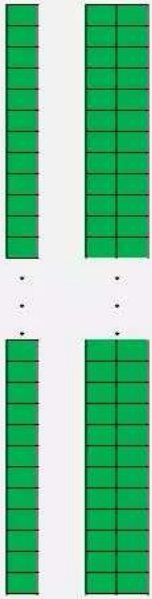
在下行PDSCH部分介绍过, HARQ-ACK可以根据PDSCH的CodeBlock Group来反馈, 此时HARQ-ACK信息一般会超过2bits, 不能使用PUCCH 0/1发送HARQ。

CSI, 由于信息长度较大, 只能通过PUCCH 2/3/4来发送。

UCI (PUCCH 2/3/4) 的处理过程 (序列生成/码块分段/CRC/编码/速率适配), 可以参见规范38212中详细描述。



PUCCH 2物理资源



PUCCH 2在时域上占用1-2个符号，在频域上可以占用1到16个RB (2/3/5的倍数)

PUCCH 2时长短，适合用于低时延场景，支持较大信息量的UCI

PUCCH 2 高层相关配置参数

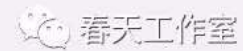
```
PUCCH-format2 ::= SEQUENCE {
    nrofPRBs      INTEGER (1..16),
    nrofSymbols   INTEGER (1..2),
    startingSymbolIndex  INTEGER (0..13)
}
```

nrofPRBs: PRB个数, 取值 1,2,3,4,5,6,8,9,10,12,15,16

nrofSymbols: 符号个数1-2

startingSymbolIndex: 开始符号索引

PUCCH 2 不支持多UE复用



PUCCH 2物理层处理

在PUCCH 2上发送UCI (HARQ-ACK+SR+CSI) 编码 (速率适配) 后的bits, 经过加扰, 调制, 在映射到物理资源。

加扰 Scrambling :

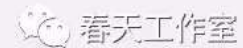
编码后的bits流 $b(0), \dots, b(M_{\text{bit}} - 1)$ M_{bit} 为编码后bits长度

加扰公式定义 $\tilde{b}(i) = (b(i) + c(i)) \bmod 2$ $c^{(q)}(i)$ 在规范38211中5.2.1节定义

初始化定义 $c_{\text{init}} = n_{\text{RNTI}} \cdot 2^{15} + n_{\text{ID}}$ $n_{\text{ID}} \in \{0, 1, \dots, 1023\}$

根据高层 `dataScramblingIdentityPUSCH`
不配置时, 默认 $n_{\text{ID}} = N_{\text{ID}}^{\text{cell}}$

加扰后的输出bits流 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{bit}} - 1)$



PUCCH 2物理层处理

调制 Modulation:

加扰后的输出bits流 $\tilde{b}(0), \dots, \tilde{b}(M_{\text{bit}} - 1)$, 进行QPSK调制

输出复值符号 $d(0), \dots, d(M_{\text{symb}} - 1)$ $M_{\text{symb}} = M_{\text{bit}} / 2$

映射到物理资源, 按照先频域 k , 再时域 l 的顺序, 不能使用DM-RS资源

PUCCH 2的DM-RS

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

$$m = 0, 1, \dots$$

$$a_{k,l}^{(p,\mu)} = \beta_{\text{PUCCH},2} r(m)$$

$$k = 3m + 1$$

示意图

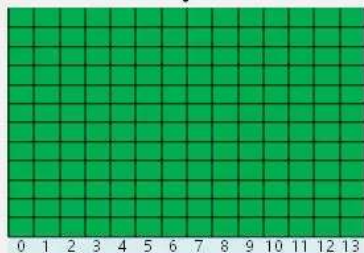
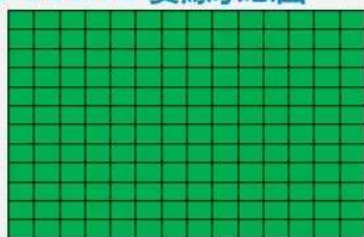
■ PUCCH 2
■ DM-RS



春天工作室

PUCCH 3物理资源

PUCCH 3 资源示意图



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13

PUCCH 3在时域上占用4-14个符号

在频域上可以占用1到16个RB (2/3/5的倍数)

$$M_{\text{RB}}^{\text{PUCCH},s} = \begin{cases} 2^{\alpha_2} \cdot 3^{\alpha_3} \cdot 5^{\alpha_5} & \text{for PUCCH format 3} \\ 1 & \text{for PUCCH format 4} \end{cases}$$

PUCCH 3 高层相关配置参数

```
PUCCH-format3 ::= SEQUENCE {
    nrofPRBs          INTEGER(1..16),
    nrofSymbols        INTEGER(4..14),
    startingSymbolIndex INTEGER(0..10)
}
```

nrofPRBs: PRB个数, 取值 1,2,3,4,5,6,8,9,10,12,15,16

nrofSymbols: 符号个数4-14

startingSymbolIndex: 开始符号索引

PUCCH 3 支持很大信息量的UCI, 不支持多UE复用

PUCCH 3序列

和PUCCH 0/1一样，PUCCH 3/4也使用低PAPR的序列

$$r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(n) = e^{j\alpha n} \bar{r}_{u,v}(n), \quad 0 \leq n < M_{ZC}$$

和PUCCH 0/1一样，PUCCH 3 (4) 也使用低PAPR的序列，

和PUCCH 0/1不同的是，PUCCH 3在频域可以配置多个PRB，序列长度 M_{ZC} 可变。


规范38211 5.2.2.1/2节中定义了不同长度情况下的序列定义

序列组 u 和序列 v 根据高层配置 [pucch-GroupHopping](#) 确定，在6.3.2.2.1节

$$\text{循环移位 } \alpha_l = \frac{2\pi}{N_{sc}^{RB}} \left((m_0 + m_{cs} + n_{cs}(n_{sf}^u, l + l')) \bmod N_{sc}^{RB} \right)$$

对于PUCCH 3，其中： $m_0 = 0$

$$m_{cs} = 0$$

 春天工作室

PUCCH 3物理层处理

PUCCH 3 UCI经过编码，加扰后，没有Block-wise spreading流程（即不支持时域OCC）

PUCCH 3 默认为QPSK调制，当高层配置为 $\pi/2$ -BPSK时，使用 $\pi/2$ -BPSK调制

由于PUCCH 3在频域可能有多个PRB分配，为了降低PAPR（峰均比），

需要进行Transform precoding，即采用DFT-spread OFDM。公式定义见38211中6.3.2.6.4节 ([LTE中上行 SC-FDMA 基于 DFT-spread OFDM](#))

Transform precoding后的复值符号映射到物理资源，按照先频域 k ，再时域 l 的顺序，不能使用DM-RS资源

PUCCH 3 支持时隙内跳频（根据高层配置），

当跳频时，在第一跳发送 $\lfloor N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH},s} / 2 \rfloor$ 个符号

在第二跳发送 $N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH},s} - \lfloor N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH},s} / 2 \rfloor$ 个符号

$$N_{\text{symb}}^{\text{PUCCH},s}$$

为时隙内总符号总数

 春天工作室

PUCCH 3的DM-RS

PUCCH 3 的DM-RS序列:

$$r_i(m) = r_{u,v}^{(\alpha,\delta)}(m)$$

$$m = 0, 1, \dots, M_{sc}^{PUCCH,s} - 1$$

映射到物理资源

$$a_{k,l}^{(p,\mu)} = \beta_{PUCCH,s} \cdot r_i(m).$$

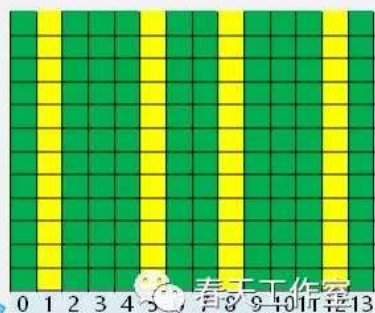
$$m = 0, 1, \dots, M_{sc}^{PUCCH,s} - 1$$

l 的位置定义如下: additional DM-RS由高层参数配置

Table 6.4.1.3.3.2-1: DM-RS positions for PUCCH format 3 and 4.

PUCCH length ^a	DM-RS position l within PUCCH span ^a			
	No additional DM-RS ^a		Additional DM-RS ^a	
	No hopping ^a	Hopping ^a	No hopping ^a	Hopping ^a
4 ^a	1 ^a	0, 2 ^a	1 ^a	0, 2 ^a
5 ^a		0, 3 ^a		0, 3 ^a
6 ^a		1, 4 ^a		1, 4 ^a
7 ^a		1, 4 ^a		1, 4 ^a
8 ^a		1, 5 ^a		1, 5 ^a
9 ^a		1, 6 ^a		1, 6 ^a
10 ^a		2, 7 ^a		1, 3, 6, 8 ^a
11 ^a		2, 7 ^a		1, 3, 6, 9 ^a
12 ^a		2, 8 ^a		1, 4, 7, 10 ^a
13 ^a		2, 9 ^a		1, 4, 7, 11 ^a
14 ^a		3, 10 ^a		1, 5, 8, 12 ^a

示例



PUCCH Resource Set配置

对于PUCCH专用资源配置, 有Resource Set—资源集合的定义 (和PDCCH类似)
资源集合中包含1个或者多个PUCCH Resource资源, 对应不同PUCCH格式配置

UE专用PUCCH资源集配置

```
PUCCH-ResourceSet ::= SEQUENCE {
    pucch-ResourceSetId      PUCCH-ResourceSetId,
    resourceList              SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofPUCCH-
                             ResourcesPerSet)) OF PUCCH-ResourceId,
    maxPayloadMinus1         INTEGER (4..256)    OPTIONAL -- Need R
}
```

PUCCH-ResourceSetId: PUCCH ResourceSet ID, 0-3, 即UE最多被配置4个PUCCH 资源集

resourceListSet: PUCCH Resource Set中包含的PUCCH Resource列表, 对应PUCCH Resource ID, 即一个资源集中最多配置32个PUCCH资源 (仅Set0支持最多32个)

PUCCH 0和1只能配置在第一个ResourceSet资源集中, 例如Set 0,

PUCCH 2/3/4只能配置在ResourceSetId > 0资源集中, 这些资源集只能包括1-32个资源

PUCCH Resource配置

UE专用PUCCH资源配置

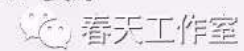
```

PUCCH-Resource ::= SEQUENCE {
    pucch-ResourceId      PUCCH-ResourceId,
    startingPRB           PRB-Id,
    intraSlotFrequencyHopping  ENUMERATED { enabled } OPTIONAL,
    secondHopPRB          PRB-Id OPTIONAL,
    format                CHOICE {
        format0           PUCCH-format0,      -- Cond InFirstSetOnly
        format1           PUCCH-format1,      -- Cond InFirstSetOnly
        format2           PUCCH-format2,      -- Cond NotInFirstSet
        format3           PUCCH-format3,      -- Cond NotInFirstSet
        format4           PUCCH-format4,      -- Cond NotInFirstSet
    }
}

```

PUCCH-ResourceId: PUCCH Resource ID, 0-127, 即最多配置128个PUCCH 资源

format: PUCCH格式配置, 以及不同格式时频域及相关参数



PUCCH资源集选择

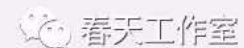
当UE配置了多个PUCCH资源集时 (例如4个),

N_{UCI} 表示UE要发送的UCI bits长度,

UE根据UCI信息长度选择对应的PUCCH资源集

PUCCH资源集和UCI长度的关系

- 对于第一个PUCCH资源集, 发送的最大UCI长度不超过2bits;
- 对于最后一个PUCCH资源集 (非第一个), 发送的最大UCI长度为1706bits
- 其它PUCCH资源集, 发送的最大UCI长度由高层参数 **maxPayloadMinus1** 确定



PUCCH资源集选择

- UE需要发送1/2 bits的HARQ-ACK 信息（可以包含negative或positive SR发送（如果同时））时，如果 $N_{\text{UCI}} \leq 2$ 则UE选择 *pucch-ResourceSetId* = 0 资源集
- 如果 $2 < N_{\text{UCI}} \leq N_2$ ，则UE选择 *pucch-ResourceSetId* = 1（配置的情况下），其中 N_2 为高层参数 *maxPayloadMinus1* (4-256)。
- 如果 $N_2 < N_{\text{UCI}} \leq N_3$ ，则UE选择 *pucch-ResourceSetId* = 2（配置的情况下），其中 N_3 为高层参数 *maxPayloadMinus1* (4-256) *4（38331: This field can take integer values that are multiples of 4）
- 如果 $N_3 \leq N_{\text{UCI}} \leq 1706$ ，则UE选择 *pucch-ResourceSetId* = 3（配置的情况下）

疑似笔误↑

*示例：
个人理解

资源集	<i>maxPayloadMinus1</i>	UCI 范围 bits
0	--	1-2
1	256	3-255
2	256	256-1023
3	--	1024-1706

春天工作室

PUCCH-Config 配置

PUCCH-Config为UE专用PUCCH配置，每个BWP配置

```

PUCCH-Config ::= SEQUENCE {
    resourceSetToAddModList      SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofPUCCH-
ResourceSets)) OF PUCCH-ResourceSet      OPTIONAL, -- Need N
    resourceSetToReleaseList     SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofPUCCH-
ResourceSets)) OF PUCCH-ResourceSetId     OPTIONAL, -- Need N
    resourceToAddModList        SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofPUCCH-Resources))
OF PUCCH-Resource              OPTIONAL, -- Need N
    resourceToReleaseList       SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofPUCCH-Resources))
OF PUCCH-ResourceId            OPTIONAL, -- Need N
    format1                     SetupRelease { PUCCH-FormatConfig }      OPTIONAL, -- Need M
    format2                     SetupRelease { PUCCH-FormatConfig }      OPTIONAL, -- Need M
    format3                     SetupRelease { PUCCH-FormatConfig }      OPTIONAL, -- Need M
    format4                     SetupRelease { PUCCH-FormatConfig }      OPTIONAL, -- Need M
}
  
```

接下页

在PUCCH-Config 中配置资源集，资源，Format 1/2/3/4的相关格式配置

春天工作室

PUCCH-Config 配置

```
PUCCH-Config ::= SEQUENCE { 接上页
    .....
    schedulingRequestResourceToAddModList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofSR-Resources)) OF SchedulingRequestResourceConfig OPTIONAL, -- Need N
    schedulingRequestResourceToReleaseList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofSR-Resources)) OF SchedulingRequestResourceId OPTIONAL, -- Need N
    multi-CSI-PUCCH-ResourceList SEQUENCE (SIZE (1..2)) OF PUCCH-ResourceId OPTIONAL, -- Need M
    dl-DataToUL-ACK SEQUENCE (SIZE (1..8)) OF INTEGER (0..15) OPTIONAL,
    spatialRelationInfoToAddModList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofSpatialRelationInfos)) OF PUCCH-SpatialRelationInfo OPTIONAL,
    spatialRelationInfoToReleaseList SEQUENCE (SIZE (1..maxNrofSpatialRelationInfos)) OF PUCCH-SpatialRelationInfoId OPTIONAL,
    pucch-PowerControl PUCCH-PowerControl OPTIONAL, -- Need M
    ...
}
```

SR配置，多CSI资源配置，下行数据ACK配置，波束相关配置，PUCCH功率配置等

PUCCH-FormatConfig 配置

```
PUCCH-FormatConfig ::= SEQUENCE {
    interslotFrequencyHopping ENUMERATED {enabled} OPTIONAL,
    additionalDMRS ENUMERATED {true} OPTIONAL,
    maxCodeRate PUCCH-MaxCodeRate OPTIONAL,
    nrofSlots ENUMERATED {n2,n4,n8} OPTIONAL,
    pi2BPSK ENUMERATED {enabled} OPTIONAL,
    simultaneousHARQ-ACK-CSI ENUMERATED {true} OPTIONAL }

```

Format 1/2/3/4 格式相关配置（额外的格式配置参数）

nrofSlots：对于Format 1/3/4，可以支持连续多时隙重复发送，增加可靠性，无此字段时，默认为1，对Format 2不适用

interslotFrequencyHopping：对于Format 1/3/4，连续多时隙重复发送时，可以时隙间跳频段，对Format 2不适用

additionalDMRS：对于Format 3/4，支持每个Hop中2个DMRS

maxCodeRate：对于Format 2/3/4，配置PUCCH信道上UCI的最大码率

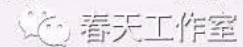
pi2BPSK：是否用 $\pi/2$ -BPSK 调制，默认为QPSK调制

simultaneousHARQ-ACK-CSI：对于Format 2/3/4，同时发送HARQ和CSI，默认

SR 配置

```
SchedulingRequestResourceConfig ::= SEQUENCE {
    schedulingRequestResourceId      SchedulingRequestResourceId,
    schedulingRequestId              SchedulingRequestId,
    periodicityAndOffset             CHOICE {
        sym2                        NULL,
        sym6or7                     NULL,
        sl1                         NULL, -- Recurs in every slot
        sl2                         INTEGER (0..1),
        sl4                         INTEGER (0..3),
        ..... 部分略
        sl640                       INTEGER (0..639) 偏置范围为 (0.. 周期-1)
    }
    resource                        PUCCH-ResourceId          OPTIONAL -- Need M
}
```

SchedulingRequestResourceConfig 配置SR发送，使用PUCCH 0或者PUCCH 1信道



SR的发送

通过参数 **periodicityAndOffset** 配置SR的周期和偏置，确定UE发送SR的时刻

$SR_{PERIODICITY}$	表示周期	→	SCS = 15 kHz: 2sym, 7sym, 1sl, 2sl, 4sl, 5sl, 8sl, 10sl, 16sl, 20sl, 40sl, 80sl ↵
SR_{OFFSET}	表示偏置		SCS = 30 kHz: 2sym, 7sym, 1sl, 2sl, 4sl, 8sl, 10sl, 16sl, 20sl, 40sl, 80sl, 160sl ↵
			SCS = 60 kHz: 2sym, 7sym/6sym, 1sl, 2sl, 4sl, 8sl, 16sl, 20sl, 40sl, 80sl, 160sl, 320sl ↵
			SCS = 120 kHz: 2sym, 7sym, 1sl, 2sl, 4sl, 8sl, 16sl, 40sl, 80sl, 160sl, 320sl, sl640 ↵

SR的周期大于1个时隙时，SR发送时刻（时隙），根据公式定义

$$(n_f \cdot N_{slot}^{frame, \mu} + n_{s,f}^{\mu} - SR_{OFFSET}) \bmod SR_{PERIODICITY} = 0$$

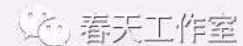
SR周期等于1个时隙时，每个时隙都有发送机会

SR周期小于或者等于1个时隙时，Offset为0（时隙）

SR周期小于1个时隙时，周期为2或者7（扩展CP为0）个符号， l 表示符号索引

$$(l - l_0 \bmod SR_{PERIODICITY}) \bmod SR_{PERIODICITY} = 0$$

其中 l_0 表示高层配置的参数：起始符号索引 **startingSymbolIndex**



HARQ-ACK的发送

PDSCH-to-HARQ的定时关系

对于DCI 1_0, DCI中的PDSCH-to-HARQ-timing-indicator字段值映射到{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8}, 即 k 值

对于DCI 1_1, DCI中的PDSCH-to-HARQ-timing-indicator字段值映射到由高层参数 $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ 确定的时隙集, 映射结果为 k 的值

DCI 1_0/1_1调度的PDSCH接收时隙为 n , 则UE在 $n+k$ 时隙内发送对应HARQ-ACK信息。

Table 9.2.3-1: Mapping of PDSCH-to-HARQ_feedback timing indicator field values to numbers of slots

PDSCH-to-HARQ_feedback timing indicator ^a	Number of slots k ^a
'000' ^a	1 st value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'001' ^a	2 nd value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'010' ^a	3 rd value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'011' ^a	4 th value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'100' ^a	5 th value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'101' ^a	6 th value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'110' ^a	7 th value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a
'111' ^a	8 th value provided by $dl\text{-}DataToUL\text{-}ACK$ ^a

PDSCH和PUCCH定时关系受到UL-DL 时隙配置的约束

HARQ-ACK资源的确定

PDSCH-to-HARQ的PUCCH资源 (在一个资源集内的索引)

当PUCCH 资源集中, 包含的资源个数 ≤ 8 时 (ResourceSetId > 0 时或者 ResourceSetId = 0), PUCCH资源在DCI 1_0或者DCI 1_1中下发, 对应PUCCH资源

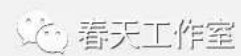
PUCCH resource indicator – 3 bits

当PUCCH 资源集中, 包含的资源个数 > 8 时 (仅ResourceSetId = 0 时), 资源索引 r_{PUCCH} 的确定公式 $0 \leq r_{\text{PUCCH}} \leq R_{\text{PUCCH}} - 1$

$$r_{\text{PUCCH}} = \left\{ \begin{array}{ll} \left\lfloor \frac{n_{\text{CCE},p} \cdot \lceil R_{\text{PUCCH}}/8 \rceil}{N_{\text{CCE},p}} \right\rfloor + \Delta_{\text{PRI}} \cdot \left\lfloor \frac{R_{\text{PUCCH}}}{8} \right\rfloor & \text{if } \Delta_{\text{PRI}} < R_{\text{PUCCH}} \bmod 8 \\ \left\lfloor \frac{n_{\text{CCE},p} \cdot \lceil R_{\text{PUCCH}}/8 \rceil}{N_{\text{CCE},p}} \right\rfloor + \Delta_{\text{PRI}} \cdot \left\lfloor \frac{R_{\text{PUCCH}}}{8} \right\rfloor + R_{\text{PUCCH}} \bmod 8 & \text{if } \Delta_{\text{PRI}} \geq R_{\text{PUCCH}} \bmod 8 \end{array} \right\}$$

Δ_{PRI} 为DCI中的资源指示字段 R_{PUCCH} 为PUCCH资源列表中的资源个数

PUSCH信道

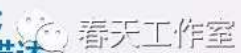


PUSCH信道概述

物理层，PUSCH 信道的总体处理流程包括

- Transport Block CRC attachment;
- Code block segmentation and Code Block CRC attachment;
- Channel coding: LDPC coding;
- Physical-layer hybrid-ARQ processing;
- Rate matching;
- Scrambling;
- Modulation: $\pi/2$ BPSK (with transform precoding only), QPSK, 16QAM, 64QAM and 256QAM;
- Layer mapping, transform precoding (enabled/disabled by configuration), and pre-coding;
- Mapping to assigned resources and antenna ports.

以上PUSCH信道总体流程和PDSCH 信道总体流程有很多相似之处；
本文主要介绍PUSCH信道和PDSCH信道差异，相似之处参见前文描述



PUSCH信道概述

PDSCH 仅支持一种Transmission schemes：即非码本传输（最多8层传输）

PUSCH支持两种Transmission schemes：基于码本传输和 非码本传输，基于码本传输时，根据DCI中的TPMI进行Precoding。

和PDSCH类似，PUSCH支持时域资源分配，DCI中指示Time domain resource assignment 对应资源分配表中的行。

用SLIV表示PUSCH时域资源，起始符号S和分配的符号长度L。

PUSCH mapping Type也支持Type A和Type B

Table 6.1.2.1-1: Valid S and L combinations

PUSCH mapping type	Normal cyclic prefix			Extended cyclic prefix		
	S	L	S+L	S	L	S+L
Type A	0	{4,...,14}	{4,...,14}	0	{4,...,12}	{4,...,12}
Type B	{0,...,13}	{1,...,14}	{1,...,14}	{0,...,12}	{1,...,12}	{1,...,12}

时域资源分配组合，和PDSCH相比，PUSCH的Type B支持1-14，符号

春天工作室

PUSCH信道概述

PUSCH发送时隙 $\left\lceil n \cdot \frac{2^{\mu_{\text{PUSCH}}}}{2^{\mu_{\text{PDCCH}}}} \right\rceil + K_2$ ，其中 n 为DCI的时隙。和PDSCH类似

PUSCH也定义时域资源分配对应的表Table 6.1.2.1.1-1，以及默认的定义表Table 6.1.2.1.1-2和6.1.2.1.1-3

PUSCH 频域资源分配，支持Type 0（RBG位图）和Type 1（RIV），和PDSCH类似

和PDSCH不同的是，PUSCH支持预配置的上行调度ConfiguredGrantConfig（类似LTE中的SPS半静态调度）

PUSCH也支持多时隙重复发送，即aggregationFactorUL = 2,4,8

为了降低PAPR峰均比，上行PUSCH可以支持Transform Precoding，即采用DFT-S-OFDM，通过RRC层参数和DCI指示。

PUSCH 的MCS，调制阶数，RV版本，TBS的确定过程和PDSCH类似，使用LDPC编码，支持CBG码块组方式发送。PUSCH仅支持非交织映射。

春天工作室

PUSCH跳频

PUSCH可以支持跳频，在规范38214中6.3 UE PUSCH frequency hopping procedure定义。

PUSCH启用跳频是有条件的：

- 当Transform Precoding启用时，UE根据DCI中的跳频字段（设为1时）进行至少14个符号时隙的跳频；


其它情况下，不启用跳频

- 当使用Resource Allocation type 1时（即分配连续一段RB），不管transform precoding开不开，UE都可以使用跳频

其它情况下，不启用跳频

有两种跳频模式：

- Intra-slot frequency hopping, 时隙内跳频，适用于单时隙和多时隙 (**mode 1**)
- Inter-slot frequency hopping, 时隙间跳频，适用于多时隙 (**mode 2**)


 春天工作室

PUSCH跳频

PUSCH参数，在PUSCH-Config中配置

```
PUSCH-Config ::= SEQUENCE {
    .....
    frequencyHopping      ENUMERATED {mode1, mode2}      OPTIONAL,
    frequencyHoppingOffsetLists SEQUENCE (SIZE (1..4)) OF INTEGER
    (1.. maxNrofPhysicalResourceBlocks-1)  OPTIONAL, -- Need M
    .....
}
```

- 当前激活UL BWP带宽 < 50 RB时，跳频偏移列表，最多配置2个跳频偏移值RB_{offset}
- 当前激活UL BWP带宽 ≥ 50 RB时，跳频偏移列表，最多配置4个跳频偏移值RB_{offset}
- 在DCI 0-0和DCI 0-1中，Frequency hopping flag-1bit表示跳频标识，
- 当跳频打开是，DCI中的 Frequency domain resource assignment 字段的最高1bit或者2bit对应跳频Offset的指示（分别对应2个或者4个跳频Offset）

 春天工作室

PUCCH时隙内跳频

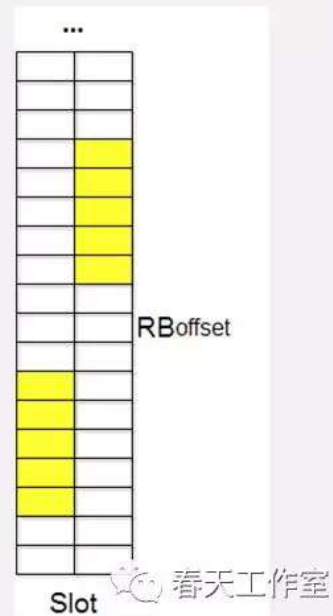
时隙内跳频，每一跳的Starting RB

$$RB_{start} = \begin{cases} RB_{start} & \text{First hop} \\ (RB_{start} + RB_{offset}) \bmod N_{BWP}^{size} & \text{Second hop} \end{cases}$$

$$\text{第一跳符号} \quad \lfloor N_{symbol}^{PUSCH,s} / 2 \rfloor$$

$$\text{第二跳符号} \quad N_{symbol}^{PUSCH,s} - \lfloor N_{symbol}^{PUSCH,s} / 2 \rfloor$$

RB个数和RB_{Start}起始位置
根据RIV得到



PUCCH时隙间跳频

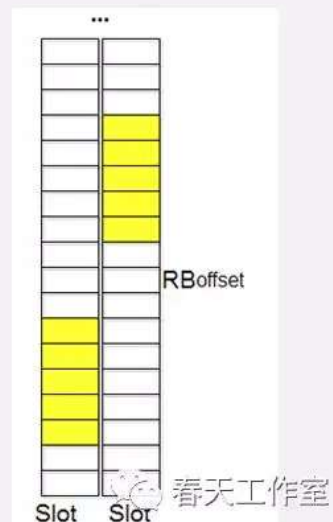
在multi-slot PUSCH transmission情况下，可以使用时隙间跳频

对于时隙间跳频，每一跳的Starting RB

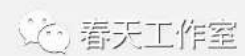
$$RB_{start}(n_s^\mu) = \begin{cases} RB_{start} & n_s^\mu \bmod 2 = 0 \\ (RB_{start} + RB_{offset}) \bmod N_{BWP}^{size} & n_s^\mu \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

偶数时隙

奇数时隙



PUSCH DM-RS



PUSCH信道的DM-RS

和PDSCH信道的DM-RS类似，PUSCH信道的DM-RS也支持：

- **Front-loaded DM-RS**：支持单前置，双前置
- **Additional DM-RS**：支持单符号和双符号

PUSCH信道的DM-RS也支持两种配置：**Type 1**和**Type 2**，在使用transform precoding时（DFT-S-OFDM），仅支持Type 1（**高密度DM-RS**）

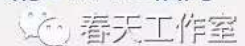
和PDSCH DM-RS类似，Type 1支持4（单前置）/8（双前置）个正交天线端口，端口号为0-7（PDSCH：1000-1007）

PUSCH的DM-RS支持两种序列：伪随机序列和低峰均比序列

当使用transform precoding时，PUSCH仅支持单层传输，单天线端口，DM-RS使用低峰均比序列

Type 2支持6（单前置）/12（双前置）个正交天线端口0-11（PDSCH：1000-1011）

PUSCH DM-RS Type 1和Type 2 多天线端口CDM组定义，和PDSCH的DM-RS相同（天线端口编号差异）



PUSCH信道的DM-RS—不跳频时

不跳频时:

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

其中Type A和下行定义一致;

Type B和下行不同

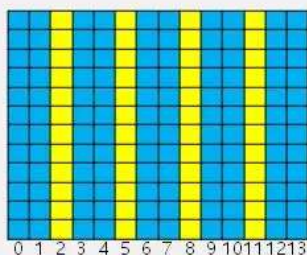


Table 6.4.1.1.3-3: PUSCH DM-RS positions \bar{l} for single-symbol DM-RS and frequency hopping disabled.

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

PUSCH信道的DM-RS—不跳频时

不跳频时:

双前置+Additional DM-RS 的组合: 可以是 2+0, 2+2

其中Type A和下行定义一致;

Type B也支持2+2 (PDSCH不支持)

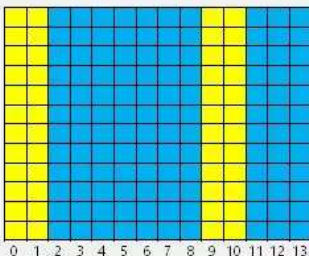


Table 6.4.1.1.3-4: PUSCH DM-RS positions \bar{l} for double-symbol DM-RS and frequency hopping disabled.

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

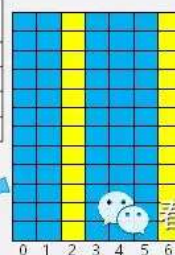
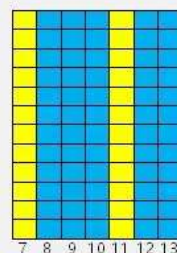
PUSCH信道的DM-RS—跳频时

在PUSCH跳频时（时隙内跳频），仅支持单前置+ Additional DM-RS 的组合

即在一个Hop内，1+0, 1+1组合

Table 6.4.1.1.3-6: PUSCH DM-RS positions \bar{l} for single-symbol DM-RS and frequency hopping enabled.

Duration in symbols	DM-RS positions \bar{l}											
	PUSCH mapping type A								PUSCH mapping type B			
	$l_0 = 2$				$l_0 = 3$				$l_0 = 0$			
	dmrs-AdditionalPosition				dmrs-AdditionalPosition				dmrs-AdditionalPosition			
	0 st	1 st	2 nd	3 rd	0 st	1 st	2 nd	3 rd	0 st	1 st	2 nd	3 rd
• ≤ 3	~	~	~	~	~	~	~	~	0	0	0	0
• 4	2	0	2	0	3	0	3	0	0	0	0	0
• 5, 6	2	0	2	0, 4	3	0	3	0, 4	0	0	0, 4	0, 4
• 7	2	0	2, 6	0, 4	3	0	3	0, 4	0	0	0, 4	0, 4



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。



wireless-spring(春天工作室)

(后注： 孙老师专注于NR的UU及接入层的研究。最近1个多月，连续给我们带来了系列好文，目前关于NR的L1物理信道部分已经基本研究和写作完成。短期内孙老师可能暂无后续作品。我们非常期待孙老师继续研究新知识新领域，能给大家带来更多好的作品。 期待后续。----- 春天哥 20180913)

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




(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 2494

10

精选留言

写留言

 camel

6

这么快，昨晚才把前几篇看完。

作者

7

能跟上孙老师节奏的都是大神啊 孙老师专注UU和接入层，这5篇，把物理信道都写齐全了，比较系统。短期内，孙老师暂时无新作品。期待孙老师带来更多好文章。期待后续。

 天天天蓝

2

srs信号准备写一篇吗？