

SRS (Sounding Reference Signal)

eNodeB 使用 SRS 来估计不同频段的上行信道质量。eNodeB 侧的调度器可以根据“上行信道状态估计”，将瞬时信道状态好的那些 RB 分配给 UE 的上行 PUSCH 传输，同时可以选择不同的传输参数（如：瞬时数据速率），以及选择对应上行多天线传输相关的不同参数（即用于“上行频率选择性调度”）。SRS 还可用于估计上行 timing，且在假设下行/上行信道互益的情况（尤其是 TDD）下，利用信道对称性来估计下行信道质量。

与 DMRS 不同，SRS 并不一定要与任何上行物理信道一起传输。但如果 SRS 和其它物理信道（如 PUSCH）一起传输时，SRS 通常会覆盖一个不同且通常更大的频带。

LTE 定义了 2 种类型的 SRS 传输：

- 周期性 SRS (periodic SRS, 对应 trigger type 0) : Rel-8 中引入，通过 RRC 配置。
- 非周期性 SRS (aperiodic SRS, 对应 trigger type 1) : Rel-10 中引入。对于 FDD, eNodeB 可以通过 DCI format 0/4/1A 触发 UE 发送非周期性 SRS。对于 TDD, eNodeB 可以通过 DCI format 0/4/1A/2B/2C 触发 UE 发送非周期性 SRS。（使用对应 DCI 中的 SRS request 字段）

如果 UE 需要在同一 serving cell 的同一子帧发送周期性 SRS 和非周期性 SRS，则 UE 只会发送非周期性 SRS。

载波聚合中，UE 可以同时在不同的 serving cell 上发送 SRS。一个 UE 可以在每个 serving cell 上都配置周期性 SRS 和非周期性 SRS。UE 在不同的 serving cell 上，可以有不同的 SRS 配置参数。SRS 配置是可选的。

```
SoundingRS-UL-ConfigCommon ::= CHOICE {-----小区特定的配置参数
    release
    setup
        srs-BandwidthConfig
            ENUMERATED {bw0, bw1, bw2, bw3, bw4, bw5,
            bw6, bw7},-----CSRS, 见36.211的Table 5.5.3.2-1, Table 5.5.3.2-2, Table 5.5.3.2-3和Table 5.5.3.2-4。
        srs-SubframeConfig
            ENUMERATED {
                sc0, sc1, sc2, sc3, sc4, sc5, sc6, sc7,
                sc8, sc9, sc10, sc11, sc12, sc13, sc14,
                sc15},-----一个系统帧（10 ms）内可用于发送SRS的子帧号的集合。见36.211的Table 5.5.3.3-1 (FDD) 和Table
                5.5.3.3-2 (TDD)。
        ackNackSRS-SimultaneousTransmission BOOLEAN, -----见36.213的8.2节，是否同时发送
        ACK/NACK/SR（只针对PUCCH）和SRS。会影响到使用short PUCCH还是Normal PUCCH。SCell并不使用该字段（因为
        载波聚合中，只有PCell会发送PUCCH）。
        srs-MaxUpPts
            ENUMERATED {true}
            OPTIONAL
            --
        Cond TDD-----是否重配置UpPTS的 $m_{SRS,0}^{max}$ , 见36.211的5.5.3.2节
```

```

    }
}

SoundingRS-UL-ConfigDedicated ::= CHOICE{----- 用于周期性SRS
    release                NULL,
    setup                  SEQUENCE {
        srs-Bandwidth      ENUMERATED {bw0, bw1, bw2, bw3},-----  $B_{\text{SRS}}$ , 见
36.211的Table 5.5.3.2-1, Table 5.5.3.2-2, Table 5.5.3.2-3和Table 5.5.3.2-4
        srs-HoppingBandwidth  ENUMERATED {hbw0, hbw1, hbw2, hbw3},-----
 $b_{\text{hop}}$ 。用于指定是否进行SRS跳频, 见36.211的5.5.3.2
        freqDomainPosition    INTEGER (0..23), -----  $n_{\text{RRC}}$ 。
        duration              BOOLEAN,-----用于指定UE是只发送一个SRS (FALSE),
还是无限地发送周期性SRS (直到去使能SRS)
        srs-ConfigIndex       INTEGER (0..1023), -----  $I_{\text{SRS}}$ 。用于指定周期性SRS的上
报周期  $T_{\text{SRS}}$  和在周期内的子帧偏移  $T_{\text{offset}}$ 
        transmissionComb      INTEGER (0..1), -----  $\bar{k}_{\text{TC}}$ 。用于指定周期性SRS的“梳
齿”
        cyclicShift            ENUMERATED {cs0, cs1, cs2, cs3, cs4, cs5,
cs6, cs7}-----  $n_{\text{SRS}}^{\text{cs}}$ , 见36.211的5.5.3.1节。
    }
}

SoundingRS-UL-ConfigDedicated-v1020 ::= SEQUENCE {
    srs-AntennaPort-r10      SRS-AntennaPort-----  $N_p$ 。用于指定周期性SRS使用的天线端
口数
}

SoundingRS-UL-ConfigDedicatedAperiodic-r10 ::= CHOICE{
    release                NULL,
    setup                  SEQUENCE {
        srs-ConfigIndexAp-r10  INTEGER (0..31), -----  $I_{\text{SRS}}$ 。用于指定非周期性SRS的上
报周期  $T_{\text{SRS},1}$  和在周期内的子帧偏移  $T_{\text{offset},1}$ 
        srs-ConfigApDCI-Format4-r10 SEQUENCE (SIZE (1..3)) OF SRS-ConfigAp-r10
        OPTIONAL,--Need ON
        srs-ActivateAp-r10      CHOICE {
            release            NULL,
            setup              SEQUENCE {
                srs-ConfigApDCI-Format0-r10 SRS-ConfigAp-r10,
                srs-ConfigApDCI-Format1a2b2c-r10 SRS-ConfigAp-r10,
                ...
            }
        }
    }
}
-- Need ON
}

SRS-ConfigAp-r10 ::= SEQUENCE {----- 用于非周期性SRS
    srs-AntennaPortAp-r10      SRS-AntennaPort, -----  $N_p$ 。用于指定非周期性SRS使用的天
线端口数
    srs-BandwidthAp-r10        ENUMERATED {bw0, bw1, bw2, bw3},-----  $B_{\text{SRS}}$ , 见36.211
的Table 5.5.3.2-1, Table 5.5.3.2-2, Table 5.5.3.2-3和Table 5.5.3.2-4
    freqDomainPositionAp-r10    INTEGER (0..23), -----  $n_{\text{RRC}}$ 。
    transmissionCombAp-r10      INTEGER (0..1), -----  $\bar{k}_{\text{TC}}$ 。用于指定非周期性SRS的“梳齿”
    cyclicShiftAp-r10           ENUMERATED {cs0, cs1, cs2, cs3, cs4, cs5, cs6,
cs7}-----  $n_{\text{SRS}}^{\text{cs}}$ , 见36.213的5.5.3.1节
}

```

```
SRS-AntennaPort ::= ENUMERATED {an1, an2, an4, spare1}
-- ASN1STOP
```

对于 TDD 而言，如果一个 serving cell 的 UpPTS 包含 1 个 SC-FDMA symbol，则该 symbol 可用于 SRS 传输；如果一个 serving cell 的 UpPTS 包含 2 个 SC-FDMA symbol，则这 2 个 symbol 都可用于 SRS 传输，且可以同时分配给同一 UE。

1.1 SRS 子帧配置

如果 SRS 在某个子帧上发送，则 SRS 将占据该子帧的最后一个 symbol，因此 SRS 和 DMRS 位于不同的 SC-FDMA symbol 上。如果最后一个 SC-FDMA symbol 分配给了 SRS，则该 symbol 不能用于 PUSCH 传输，在最差的情况下（每个子帧都有 SRS 传输），SRS 会占用大约 7% (1/14) 的开销。

一个小区在一个系统帧 (10 ms) 内可用于发送 SRS 的子帧号的集合必须满足：

- $\lfloor n_s / 2 \rfloor \bmod T_{\text{SFC}} \in \Delta_{\text{SFC}}$ ：这个公式计算的是在一个系统帧 (10ms) 内，有哪些子帧可以用于发送 SRS。其中 $\lfloor n_s / 2 \rfloor$ 为子帧号；可以将该公式看做是把一个 10ms 的系统帧分为 $(10 / T_{\text{SFC}})$ 份，而 Δ_{SFC} 为在每一份中的子帧偏移。（ T_{SFC} 和 Δ_{SFC} 的取值见图 1）
- 对于 TDD 而言，只有上行子帧或 UpPTS 可以用于发送 SRS。（TDD 中，子帧 0 和子帧 5 必定为下行子帧，所以必定不会用于发送 SRS）

一个小区内可用于发送 SRS 的子帧号的集合是通过 IE: *SoundingRS-UL-ConfigCommon* 的 *srs-SubframeConfig* 字段来配置，这是一个小区级的配置（通过 SIB2 下发）。

srs-SubframeConfig 与 36.211 的 Table 5.5.3.3-1（用于 FDD）和 Table 5.5.3.3-2（用于 TDD）的对应关系如下图所示。与协议中的这 2 个 Table 相比，我在最后添加了 1 列，给出了每种配置下的每个系统帧内可用于发送 SRS 的子帧集合。（见 36.211 的 5.5.3.3 节）

cell-specific configuration

```

SoundingRS-UL-ConfigCommon ::= CHOICE {
    release NULL,
    setup SEQUENCE {
        srs-BandwidthConfig ENUMERATED {bw0, bw1, bw2, bw3, bw4, bw5, bw6, bw7},
        srs-SubframeConfig ENUMERATED {
            sc0, sc1, sc2, sc3, sc4, sc5, sc6, sc7,
            sc8, sc9, sc10, sc11, sc12, sc13, sc14, sc15},
        ackNackSRS-SimultaneousTransmission BOOLEAN,
        srs-MaxUpPts ENUMERATED {true} OPTIONAL -- Cond TDD
    }
}

```

This table is for FDD

Table 5.5.3.3-1: Frame structure type 1 sounding reference signal subframe configuration.

srs-SubframeConfig	Binary	Configuration Period T_{SFC} (subframes)	Transmission offset Δ_{SFC} (subframes)	Subframes that can be used to transmit SRS in a radio frame
0	0000	1	{0}	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}
1	0001	2	{0}	{0, 2, 4, 6, 8}
2	0010	2	{1}	{1, 3, 5, 7, 9}
3	0011	5	{0}	{0, 5}
4	0100	5	{1}	{1, 6}
5	0101	5	{2}	{2, 7}
6	0110	5	{3}	{3, 8}
7	0111	5	{0, 1}	{0, 1, 5, 6}
8	1000	5	{2, 3}	{2, 3, 7, 8}
9	1001	10	{0}	{0}
10	1010	10	{1}	{1}
11	1011	10	{2}	{2}
12	1100	10	{3}	{3}
13	1101	10	{0, 1, 2, 3, 4, 6, 8}	{0, 1, 2, 3, 4, 6, 8}
14	1110	10	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8}	{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8}
15	1111	reserved	reserved	reserved

This table is for TDD

Table 5.5.3.3-2: Frame structure type 2 sounding reference signal subframe configuration.

srs-SubframeConfig	Binary	Configuration Period T_{SFC} (subframes)	Transmission offset Δ_{SFC} (subframes)	Subframes that can be used to transmit SRS in a radio frame
0	0000	5	{1}	{1, 6}
1	0001	5	{1, 2}	{1, 2, 6, 7}
2	0010	5	{1, 3}	{1, 3, 6, 8}
3	0011	5	{1, 4}	{1, 4, 6, 9}
4	0100	5	{1, 2, 3}	{1, 2, 3, 6, 7, 8}
5	0101	5	{1, 2, 4}	{1, 2, 4, 6, 7, 9}
6	0110	5	{1, 3, 4}	{1, 3, 4, 6, 8, 9}
7	0111	5	{1, 2, 3, 4}	{1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9}
8	1000	10	{1, 2, 6}	{1, 2, 6}
9	1001	10	{1, 3, 6}	{1, 3, 6}
10	1010	10	{1, 6, 7}	{1, 6, 7}
11	1011	10	{1, 2, 6, 8}	{1, 2, 6, 8}
12	1100	10	{1, 3, 6, 9}	{1, 3, 6, 9}
13	1101	10	{1, 4, 6, 7}	{1, 4, 6, 7}
14	1110	reserved	reserved	reserved
15	1111	reserved	reserved	reserved

See 5.5.3.3 of TS 36.211

图 1: 一个 10ms 的系统帧内可用于传输 SRS 的子帧号集合

从 36.211 的 Table 5.5.3.3-1 / Table 5.5.3.3-2 可以看出, 有些 *srs-SubframeConfig* 的值是 reserved 的 (FDD 下, *srs-SubframeConfig* = 15 是 reserved 的; TDD 下, *srs-SubframeConfig* = 14/15 是 reserved 的)。如果某小区配置的 *srs-SubframeConfig* 值是 reserved 的, 那么该小区的 SRS 功能就是完全关闭的 (即所有 UE 都不发送 SRS)。例如当小区主要服务于高速移动的 UE 时, 就可以关闭 SRS 功能。

为什么需要 SRS 子帧配置，而且该配置还是小区级的呢？

一个 UE 在某个特定子帧上发送的 SRS 可能与小区内其它 UE 的 PUSCH 传输在频域上相互重叠。为了避免不同 UE 的 SRS 传输和 PUSCH 传输之间发生冲突，所有 UE 都应该避免在发送了 SRS 的子帧的最后一个 SC-FDMA symbol 上发送 PUSCH。因此，小区内的所有 UE 应该知道在哪些子帧集合上，可能会有 UE 发送 SRS，这样所有 UE 就能避免在这些子帧的最后一个 SC-FDMA symbol 上发送 PUSCH。这就是为什么需要 SRS 子帧配置，且该配置是小区级的原因。

1.2 周期性 SRS

周期性 SRS 传输每隔一定的周期发送一次。eNodeB 通过 **srs-ConfigIndex** (UE 特定的配置参数) 给 UE 配置 I_{SRS} 。UE 通过 I_{SRS} 查 36.213 的 Table 8.2-1 (用于 FDD) 或 Table 8.2-2 (用于 TDD)，可以得到周期性 SRS 的上报周期 T_{SRS} 和在周期内的子帧偏移 T_{offset} 。

Table 8.2-1: UE Specific SRS Periodicity T_{SRS} and Subframe Offset Configuration T_{offset} for trigger type 0, FDD

SRS Configuration Index I_{SRS}	SRS Periodicity T_{SRS} (ms)	SRS Subframe Offset T_{offset}
0 – 1	2	I_{SRS}
2 – 6	5	$I_{\text{SRS}} - 2$
7 – 16	10	$I_{\text{SRS}} - 7$
17 – 36	20	$I_{\text{SRS}} - 17$
37 – 76	40	$I_{\text{SRS}} - 37$
77 – 156	80	$I_{\text{SRS}} - 77$
157 – 316	160	$I_{\text{SRS}} - 157$
317 – 636	320	$I_{\text{SRS}} - 317$
637 – 1023	reserved	reserved

Table 8.2-2: UE Specific SRS Periodicity T_{SRS} and Subframe Offset Configuration T_{offset} for trigger type 0, TDD

SRS Configuration Index I_{SRS}	SRS Periodicity T_{SRS} (ms)	SRS Subframe Offset T_{offset}
0	2	0, 1
1	2	0, 2
2	2	1, 2
3	2	0, 3
4	2	1, 3
5	2	0, 4
6	2	1, 4
7	2	2, 3
8	2	2, 4
9	2	3, 4
10 – 14	5	$I_{\text{SRS}} - 10$
15 – 24	10	$I_{\text{SRS}} - 15$
25 – 44	20	$I_{\text{SRS}} - 25$
45 – 84	40	$I_{\text{SRS}} - 45$
85 – 164	80	$I_{\text{SRS}} - 85$
165 – 324	160	$I_{\text{SRS}} - 165$
325 – 644	320	$I_{\text{SRS}} - 325$
645 – 1023	reserved	reserved

周期 T_{SRS} 是每个 **serving cell** 级别的配置，其值属于集合{2, 5, 10, 20, 40, 80, 160, 320} ms。“每个 **serving cell** 级别”包含了 2 层含义：

1) 接入到同一 **serving cell** 的所有 UE 的 T_{SRS} 是相同的。假设 FDD 下的某个 **serving cell** 配置的 SRS 周期 $T_{\text{SRS}} = 10\text{ms}$ ，则该 **serving cell** 给接入到该小区的 UE 配置的 I_{SRS} 取值范围必须为“7~16”（见 36.213 的 Table 8.2-1）。

2) 如果 UE 配置了多个 **serving cell**（载波聚合），则对应不同的 **serving cell**，可以有不同的 T_{SRS} 配置。

对于“TDD 且 SRS 周期 $T_{\text{SRS}} > 2$ 的小区”和“FDD 小区”而言，用于发送周期性 SRS 的子帧必须满足

$$(10 \cdot n_f + k_{\text{SRS}} - T_{\text{offset}}) \bmod T_{\text{SRS}} = 0$$

对于 TDD 下，SRS 周期 T_{SRS} 配置为 2 ms 的 SRS 传输而言，其发送的子帧必须满足

$$(k_{\text{SRS}} - T_{\text{offset}}) \bmod 5 = 0$$

注：对于 SRS 周期 T_{SRS} 配置为 2 ms 的情况，公式中是 mod 5 而不是 mod 2，这说明每个 UE 上报 SRS 的实际周期是 5 ms；并且从 36.213 的 Table 8.2-2 可以看出，此时每个半帧内（5 ms）只有 2 个 T_{offset} ，说明每个半帧内只有 2 个 SRS 资源。

对于 FDD 而言， k_{SRS} 为每个系统帧内的子帧号（ $k_{\text{SRS}} = \{0,1,\dots,9\}$ ）。对于 TDD 而言， k_{SRS} 在 36.213 的 Table 8.2-3 定义。

Table 8.2-3: k_{SRS} for TDD

	subframe index n											
	0	1		2	3	4	5	6		7	8	9
		1st symbol of UpPTS	2nd symbol of UpPTS					1st symbol of UpPTS	2nd symbol of UpPTS			
k_{SRS} in case UpPTS length of 2 symbols		0	1	2	3	4		5	6	7	8	9
k_{SRS} in case UpPTS length of 1 symbol		1		2	3	4		6		7	8	9

下图是 TDD 1 下，小区的 SRS 周期设置为 5 ms，且 UpPTS 占 2 个 symbol 的一个例子。图中给出了子帧号、 k_{SRS} 和 I_{SRS} 的对应关系。在这个例子中，由于上行子帧数的限制， I_{SRS} 不能取值 14。

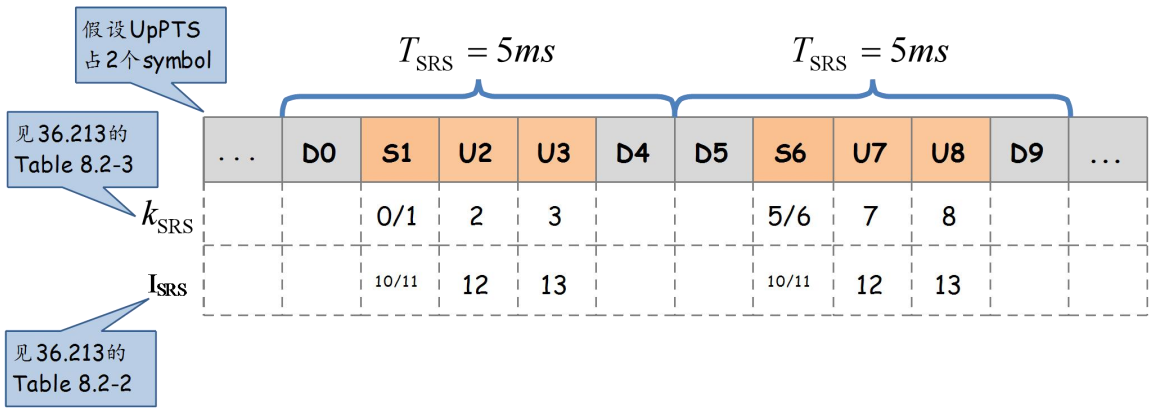


图 2：举例

I_{SRS} 的取值还会受到 *srs-SubframeConfig* 的影响。前面已经介绍过，*srs-SubframeConfig* 决定了一个小区在一个系统帧（10 ms）内可用于发

送 SRS 的子帧号的集合，不属于这个集合内的子帧是不能用于发送 SRS 的。假设在上面的例子中，TDD 小区内只有特殊子帧 1 和 6 可用于发送 SRS（对应 *sr s-SubframeConfig* = 0，见 36.211 的 Table 5.5.3.3-2），则 *I*_{SRS} 只能取值 10 或 11。

对于周期性 SRS，还有一个 UE 级的配置 *duration*，用于指定 UE 是只发送一个 SRS 后就不再发送，还是无限地周期性发送 SRS（直到 SRS 去使能为止）。

1.3 非周期性 SRS

非周期性 SRS 是通过 DCI format 0/4/1A/2B/2C 的 SRS request 字段来触发的，且非周期性 SRS 不支持跳频。

对于非周期性 SRS 且使用 DCI format 4 的情况，eNodeB 可通过 *sr s-ConfigApDCI-Format4* 给 UE 配置 3 组 SRS 参数。使用 DCI format 4 的 2 比特 SRS request 字段查 36.213 的 Table 8.1-1 可知道所选的那组 SRS 参数。

Table 8.1-1: SRS request value for trigger type 1 in DCI format 4

Value of SRS request field	Description
'00'	No type 1 SRS trigger
'01'	The 1 st SRS parameter set configured by higher layers
'10'	The 2 nd SRS parameter set configured by higher layers
'11'	The 3 rd SRS parameter set configured by higher layers

在非周期性 SRS 且使用 DCI format 0 的情况下，eNodeB 只会通过 *sr s-ConfigApDCI-Format0* 给 UE 配置 1 组 SRS 参数。

在非周期性 SRS 且使用 DCI format 1A/2B/2C 的情况下，eNodeB 只会通过 *sr s-ConfigApDCI-Format1a2b2c-r10* 给 UE 配置 1 组 SRS 参数。

DCI format 0/1A/2B/2C 包含了 1 比特的 SRS request 字段，如果该字段值为 1，则触发非周期性 SRS 上报；否则不触发非周期性 SRS 上报。

注：只有 DCI format 4 的 SRS request 字段包含 2 比特的信息，其它 DCI format 的 SRS request 字段至多包含 1 比特的信息。

对于非周期性 SRS，eNodeB 通过 **srs-ConfigIndexAp-r10**（UE 特定的配置参数）给 UE 配置 I_{SRS} 。UE 通过 I_{SRS} 查 36.213 的 Table 8.2-4（用于 FDD）或 Table 8.2-5（用于 TDD），可以得到 SRS 周期 $T_{\text{SRS},1}$ 和在周期内的子帧偏移 $T_{\text{offset},1}$ 。

注：非周期性 SRS 中， I_{SRS} 的取值也会受到 **srs-SubframeConfig** 的影响。

Table 8.2-4: UE Specific SRS Periodicity $T_{\text{SRS},1}$ and Subframe Offset Configuration $T_{\text{offset},1}$ for trigger type 1, FDD

SRS Configuration Index I_{SRS}	SRS Periodicity $T_{\text{SRS},1}$ (ms)	SRS Subframe Offset $T_{\text{offset},1}$
0 – 1	2	I_{SRS}
2 – 6	5	$I_{\text{SRS}} - 2$
7 – 16	10	$I_{\text{SRS}} - 7$
17 – 31	reserved	reserved

Table 8.2-5: UE Specific SRS Periodicity $T_{\text{SRS},1}$ and Subframe Offset Configuration $T_{\text{offset},1}$ for trigger type 1, TDD

SRS Configuration Index I_{SRS}	SRS Periodicity $T_{\text{SRS},1}$ (ms)	SRS Subframe Offset $T_{\text{offset},1}$
0	2	0, 1
1	2	0, 2
2	2	1, 2
3	2	0, 3
4	2	1, 3
5	2	0, 4
6	2	1, 4
7	2	2, 3
8	2	2, 4
9	2	3, 4
10 – 14	5	$I_{\text{SRS}} - 10$
15 – 24	10	$I_{\text{SRS}} - 15$
25 – 31	reserved	reserved

与周期性 SRS 类似的，非周期性 SRS 中的周期 $T_{\text{SRS},1}$ 也是每个 serving cell 级别的配置，但其值属于集合{2, 5, 10} ms。

如果 UE 在 serving cell c 上配置了非周期性 SRS，且没有配置 CIF（非跨载波调度），则 UE 会基于 serving cell c 上接收到的 PDCCH 的 SRS request 字段，来决定是否在 serving cell c 上发送 SRS。

如果 UE 在 serving cell c 上配置了非周期性 SRS，且配置了 CIF（跨载波调度），则 UE 会基于接收到的 PDCCH 的 SRS request 字段，来决定是否在 CIF 字段指定的 serving cell c 上发送 SRS。

也就是说，PDCCH 调度的是哪个 serving cell 的 PUSCH/PDSCH 数据，其触发的非周期性 SRS 就在对应的 serving cell 上发送。

如果 UE 在 serving cell c 上配置了非周期性 SRS，且在 serving cell c 的子帧 n 上检测到了 SRS 请求，则 UE 会在满足以下条件的第一个子帧上发送非周期性 SRS：

- 该子帧满足 $n+k, k \geq 4$ ，且
- 对于“TDD 且 $T_{\text{SRS},1} > 2$ 的小区”和“FDD 小区”而言，用于发送非周期性 SRS 的子帧必须满足 $(10 \cdot n_f + k_{\text{SRS}} - T_{\text{offset},1}) \bmod T_{\text{SRS},1} = 0$ 。
- 对于“TDD 且 $T_{\text{SRS},1} = 2$ 的 SRS 传输”而言，其发送的子帧必须满足 $(k_{\text{SRS}} - T_{\text{offset},1}) \bmod 5 = 0$ 。

对于 FDD 而言， k_{SRS} 为每个系统帧内的子帧号 ($k_{\text{SRS}} = \{0,1,\dots,9\}$)。对于 TDD 而言， k_{SRS} 在 36.213 的 Table 8.2-3 定义。（可参见 1.2 节的举例）

1.4 SRS 频域资源

在频域上，SRS 传输应该覆盖调度器感兴趣的频带。这可以通过 2 种方式实现：

- 通过发送一个足够大的“宽带 SRS (wideband SRS)”，来覆盖整个感兴趣的频带。
- 通过发送多个“窄带 SRS (narrowband SRS)”，并在频域上进行跳频，然后将一连串发送的 SRS 联合起来，就能覆盖整个感兴趣的频带。

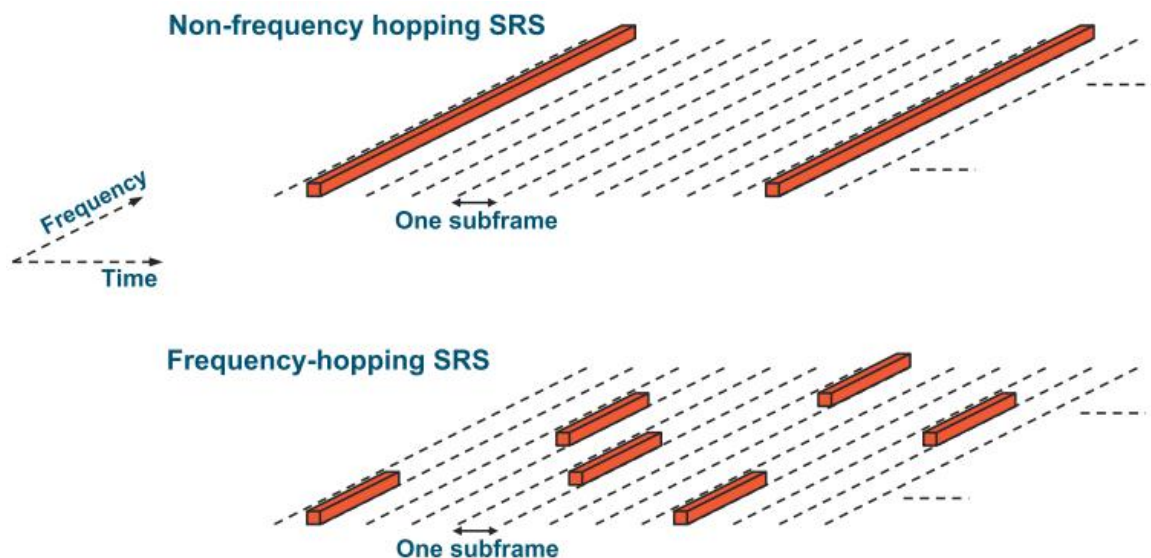


图 3：非跳频 SRS 和跳频 SRS 之间的比较

使用宽带（非跳频）SRS 传输的主要好处在于只使用 1 个 SRS 传输（在一个 SC-FDMA symbol 内）就可以把整个感兴趣的频带都上报给 eNodeB。由于只要子帧的最后一个 SC-FDMA symbol 要用于发送 SRS（不管是宽带 SRS 还是窄带 SRS），则整个 SC-FDMA symbol 都不能用于该小区内所有 UE 的上行数据传输，所以从资源利用的角度上看，使用宽带 SRS 传输的效率更高，此时使用更少的 SC-FDMA symbol 就可以探测整个带宽。对比上图，窄带 SRS 需要使用 4 个 SC-FDMA symbol（在不同的子帧上）才能把整个频带上报给 eNodeB。

但在上行路径损耗较高的情况下，宽带 SRS 传输可能导致相对较低的接收功率谱密度（这个好理解：发射功率固定的情况下，将功率平均分配给越大的带宽，则每个 RE 分配到的功率越小），这会恶化信道估计的结果。在这种情况下，使用多个窄带 SRS 是个更好的选择，这样可以使可用的传输功率集中在更窄的频率范围内，并且在频带内进行跳频，提高增益。

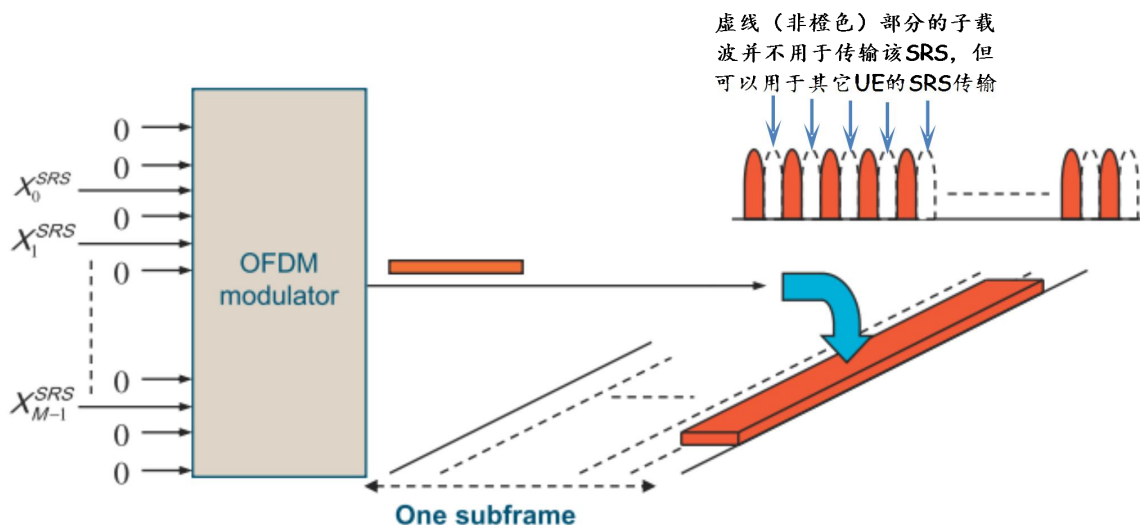


图 4：频域上参考信号的映射

不同 UE 的 SRS 可以在同一子帧且相同的 RB 集合上发送，但彼此之间可以通过使用不同的“梳齿”来区分。协议中使用 $\bar{k}_{TC} \in \{0,1\}$ 来指定某个 UE 发送的 SRS 所使用的梳齿，并通过 *transmissionComb* 或 *transmissionComb-ap* 字段来配置的。例如上图中，实线（橙色）部分的子载波用于某个 UE 的 SRS 传输，而虚线（非橙色）部分的子载波可用于其它 UE 的 SRS 传输。

也就是说，SRS 的参考信号序列是每隔一个子载波映射的，从而形成了一个“梳状”的频谱。

接下来，我们从 3GPP 协议的角度来介绍 SRS 的频域资源。

首先，我们来介绍 SRS 带宽，即每个 SRS 在频域上占多少个 RB。

$M_{sc,b}^{RS}$ 指定了 SRS 参考信号序列的长度，间接地说明了该 SRS 在频域上占多少个 RB。

$$M_{sc,b}^{RS} = m_{SRS,b} N_{sc}^{RB} / 2$$

其中 $b = B_{SRS}$ ， $m_{SRS,b}$ 见 36.211 的 Table 5.5.3.2-1 至 Table 5.5.3.2-4（每个 Table 对应不同的上行系统带宽）。 $m_{SRS,b}$ 实际上指定了每个 SRS 在频域上所占的 RB 数。公式中“除以 2”的原因是 SRS 的参考信号序列是每隔一个子载波映射的，即“梳状”频谱导致的。

$m_{\text{SRS},b}$ 与上行系统带宽 $N_{\text{RB}}^{\text{UL}}$ 、小区特定的配置参数 $C_{\text{SRS}} \in \{0,1,2,3,4,5,6,7\}$ （通过 *srs-BandwidthConfig* 配置）和 UE 特定的配置参数 $B_{\text{SRS}} \in \{0,1,2,3\}$ （通过 *srs-Bandwidth* 配置）相关。见 36.211 的 Table 5.5.3.2-1 至 Table 5.5.3.2-4。

Table 5.5.3.2-1: $m_{\text{SRS},b}$ and N_b , $b = 0,1,2,3$, values for the uplink bandwidth of $6 \leq N_{\text{RB}}^{\text{UL}} \leq 40$.

SRS bandwidth configuration C_{SRS}	SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 0$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 1$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 2$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 3$	
	$m_{\text{SRS},0}$	N_0	$m_{\text{SRS},1}$	N_1	$m_{\text{SRS},2}$	N_2	$m_{\text{SRS},3}$	N_3
0	36	1	12	3	4	3	4	1
1	32	1	16	2	8	2	4	2
2	24	1	4	6	4	1	4	1
3	20	1	4	5	4	1	4	1
4	16	1	4	4	4	1	4	1
5	12	1	4	3	4	1	4	1
6	8	1	4	2	4	1	4	1
7	4	1	4	1	4	1	4	1

Table 5.5.3.2-4: $m_{\text{SRS},b}$ and N_b , $b = 0,1,2,3$, values for the uplink bandwidth of $80 < N_{\text{RB}}^{\text{UL}} \leq 110$.

SRS bandwidth configuration C_{SRS}	SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 0$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 1$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 2$		SRS-Bandwidth $B_{\text{SRS}} = 3$	
	$m_{\text{SRS},0}$	N_0	$m_{\text{SRS},1}$	N_1	$m_{\text{SRS},2}$	N_2	$m_{\text{SRS},3}$	N_3
0	96	1	48	2	24	2	4	6
1	96	1	32	3	16	2	4	4
2	80	1	40	2	20	2	4	5
3	72	1	24	3	12	2	4	3
4	64	1	32	2	16	2	4	4
5	60	1	20	3	4	5	4	1
6	48	1	24	2	12	2	4	3
7	48	1	16	3	8	2	4	2

对于 UpPTS 而言，如果存在小区特定的参数 *srs-MaxUpPts*（值为 TRUE），则 $m_{\text{SRS},0}$ 将重配置为 $m_{\text{SRS},0}^{\text{max}} = \max_{c \in C} \{m_{\text{SRS},0}^c\} \leq (N_{\text{RB}}^{\text{UL}} - 6N_{\text{RA}})$ ；否则 $m_{\text{SRS},0}^{\text{max}} = m_{\text{SRS},0}$ 。其中 c 是 SRS BW 配置， N_{RA} 是对应 UpPTS 中包含的 format 4 PRACH 数，这里的 6 表示的是 1 个 PRACH 资源在频域上占 6 个 RB。

由于 SRS 关心的区域并不包含系统带宽边界处用于 PUCCH 传输的区域，所以最大 SRS 带宽（宽带 SRS）小于整个上行系统带宽。宽带 SRS 占据的是整个带宽的中心 $m_{\text{SRS},0}$ 个 RB。

当 $B_{\text{SRS}} = 0$ 时，UE 将使用宽带 SRS 传输（也即 $m_{\text{SRS},0}$ 是最大的 SRS 带宽）；当 $B_{\text{SRS}} > 0$ （除了这种情况：对应 $6 \leq N_{\text{RB}}^{\text{UL}} \leq 40$ 、 $C_{\text{SRS}} = 7$ 、 $m_{\text{SRS},0} = 4$ ，只使用宽带 SRS，见 36.211 的 Table 5.5.3.2-4）时，UE 将使用窄带 SRS 传输。

C_{SRS} 和 B_{SRS} 共同决定了 SRS 带宽的大小和频域上分为几份。以 $N_{\text{RB}}^{\text{UL}} = 100$ 、 $C_{\text{SRS}} = 0$ 为例，参照 36.211 的 Table 5.5.3.2-4 可知：假设 $B_{\text{SRS}} = 0$ ，则使用宽带 SRS，每个 SRS 的带宽为 96 RB，频域上只分为 1（ $N_0 = 1$ ）份；假设 $B_{\text{SRS}} = 1$ ，则使用窄带 SRS，每个 SRS 的带宽为 48 RB，频域上被分为 2（ $N_0 * N_1 = 2$ ）份；假设 $B_{\text{SRS}} = 2$ ，则使用窄带 SRS，每个 SRS 的带宽为 24 RB，频域上被分为 4（ $N_0 * N_1 * N_2 = 4$ ）份；假设 $B_{\text{SRS}} = 3$ ，则使用窄带 SRS，每个 SRS 的带宽为 4 RB，频域上被分为 24（ $N_0 * N_1 * N_2 * N_3 = 24$ ）份。

可以看出，SRS 传输的带宽总是 4 RB 的整数倍（对应 $m_{\text{SRS},3}$ ），因此 SRS 的参考信号序列的长度总是 24 的整数倍（4 个 RB 对应 48 个子载波，由于 SRS 是梳状结构，因此 $48 / 2 = 24$ 才是其长度的基本单位）。

接着，我们来介绍 SRS 传输在频域上的起始位置。

SRS 传输在频域上的起始位置 $k_0^{(p)}$ 通过如下方式计算：

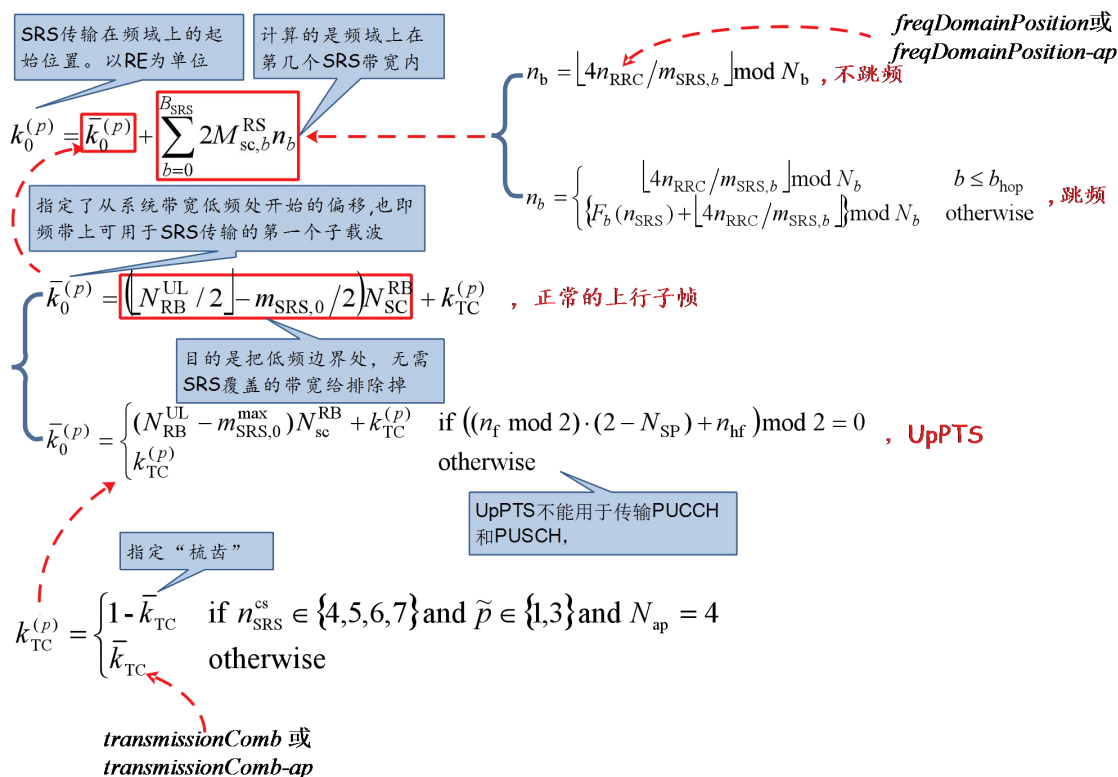


图 5: SRS 传输的频域起始位置

符号	说明
n_f	系统帧号
n_{hf}	一个系统帧由 2 个半帧组成。如果 UpPTS 位于第 1 个半帧上, 则 n_{hf} 等于 0; 如果 UpPTS 位于第 2 个半帧上, 则 n_{hf} 等于 1。
N_{SP}	一个系统帧内 DL 到 UL 的 switch point 的个数。对于 5 ms 的“Downlink-to-Uplink switch-point periodicity”而言, 其值为 2; 对于 10 ms 的“Downlink-to-Uplink switch-point periodicity”而言, 其值为 1 (见 36.211 的 Table 4.2-2)。
N_{ap}	用于 SRS 传输的天线端口数
\tilde{p}	天线端口索引, 见 36.211 的 Table 5.2.1-1

这里我们把公式分为 $\bar{k}_0^{(p)}$ 和 $\sum_{b=0}^{B_{\text{SRS}}} 2M_{\text{sc},b}^{\text{RS}} n_b$ 两部分来分析。

$\bar{k}_0^{(p)}$ 表示了从上行系统带宽的低频处开始的可用于 SRS 传输的偏移, 也即频带上可用于 SRS 传输的第一个子载波的位置, 或者说宽带 SRS 的起始子载波所在的位置。

对于正常的子帧而言， $\bar{k}_0^{(p)} = (\lfloor N_{\text{RB}}^{\text{UL}} / 2 \rfloor - m_{\text{SRS},0} / 2) N_{\text{SC}}^{\text{RB}} + k_{\text{TC}}^{(p)}$ 。其中 $(\lfloor N_{\text{RB}}^{\text{UL}} / 2 \rfloor - m_{\text{SRS},0} / 2) N_{\text{SC}}^{\text{RB}}$ 是为了把上行系统的低频处，**SRS** 不关心的用于 **PUCCH** 传输的区域排除掉。 $k_{\text{TC}}^{(p)}$ 的值为 0 或 1，用于确定使用哪个梳齿。图 6 是正常子帧， $N_{\text{RB}}^{\text{UL}} = 100$ ， $C_{\text{SRS}} = 0$ 的一个例子，可以看出，如果 $k_{\text{TC}}^{(p)}$ 的值为 0，则 $\bar{k}_0^{(p)} = 24$ ；如果 $k_{\text{TC}}^{(p)}$ 的值为 1，则 $\bar{k}_0^{(p)} = 25$ 。

$\sum_{b=0}^{B_{\text{SRS}}} 2M_{\text{sc},b}^{\text{RS}} n_b$ 可以看做是把宽带 **SRS** 等分成 N 份后，所取的那一份。其中 n_b 为频域位置索引，除非 **RRC** 连接重配置，否则其值是保持不变的； n_{RRC} 是通过 *freqDomainPosition*（用于周期性 **SRS**）和 *freqDomainPosition-ap*（用于非周期性 **SRS**）配置的，决定了 n_b 的值，见图 5。更确切地说， n_{RRC} 决定了 **SRS** 传输在频域上的起始位置。

图 6 是正常子帧， $N_{\text{RB}}^{\text{UL}} = 100$ ， $C_{\text{SRS}} = 0$ 的一个例子（为了简单，省略了 $B_{\text{SRS}} = 3$ 的场景），大家可以取个 n_{RRC} 值，同时查 Table 5.5.3.2-4，把对应的值代入图 3 中的公式计算一遍，就可以得到图 6 的结果。

注：由于 N_0 值固定为 1，所以可以计算出 n_0 值固定为 0。同时， $2M_{\text{sc},b}^{\text{RS}}$ 等于一个 **SRS** 带宽。

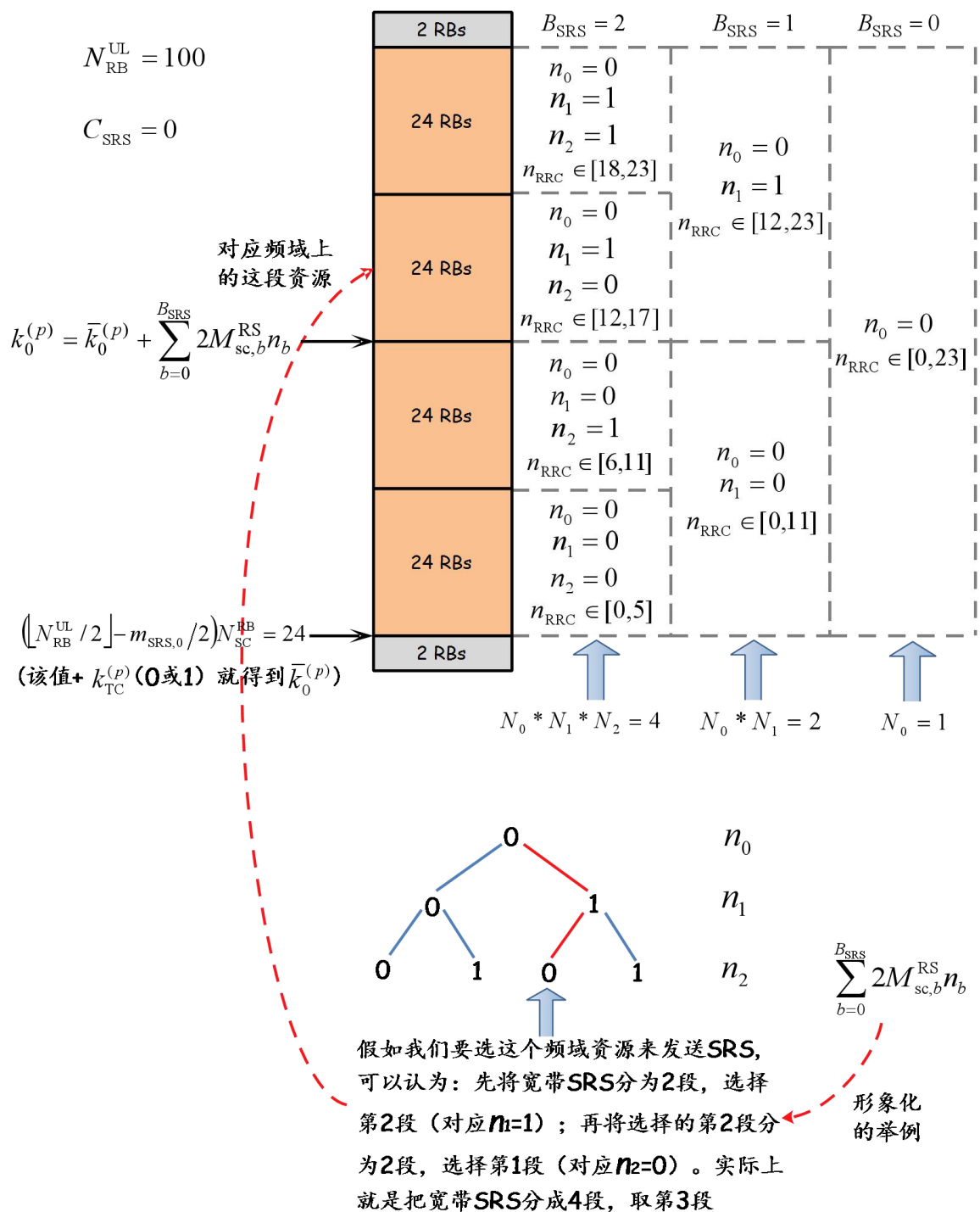


图 6：正常子帧， $N_{\text{RB}}^{\text{UL}} = 100$ ， $C_{\text{SRS}} = 0$ 的例子

这里就不对 UpPTS 上的 SRS 进行介绍了，其基本思路类似。但需要注意的是 UpPTS 不能用于发送 PUCCH 和 PUSCH，只能用于发送 SRS 和 PRACH。

最后，我们来介绍“梳齿”的概念。

从前面的介绍可以看出，不同 UE 可以在相同子帧、相同 RB 集合上发送 SRS，但彼此之间使用不同的 \bar{k}_{TC} 予以区分。

从前面的介绍可以看出，非周期性 SRS 和周期性 SRS 的频域结构是相同的，但是配置方式（RRC 消息字段）有所不同。

1.5 SRS 跳频

SRS 的跳频是通过参数 $b_{\text{hop}} \in \{0,1,2,3\}$ 配置的，该值是通过 UE 级的 RRC 参数 *srs-HoppingBandwidth* 来配置的。

如果没有使能 SRS 跳频（ $b_{\text{hop}} \geq B_{\text{SRS}}$ ），则频率位置索引 n_b 的值固定为 $n_b = \lfloor 4n_{\text{RRC}}/m_{\text{SRS},b} \rfloor \bmod N_b$ （除非进行 RRC 连接重配置），其中 n_{RRC} 是通过 *freqDomainPosition*（周期性 SRS）和 *freqDomainPosition-ap*（非周期性 SRS）配置的。

如果使能了 SRS 跳频（ $b_{\text{hop}} < B_{\text{SRS}}$ ），则频率位置索引 n_b 的值为

$$n_b = \begin{cases} \lfloor 4n_{\text{RRC}}/m_{\text{SRS},b} \rfloor \bmod N_b & b \leq b_{\text{hop}} \\ \{F_b(n_{\text{SRS}}) + \lfloor 4n_{\text{RRC}}/m_{\text{SRS},b} \rfloor\} \bmod N_b & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中 N_b 见 36.211 的 Table 5.5.3.2-1 至 Table 5.5.3.2-4。 $F_b(n_{\text{SRS}})$ 按下面的公式定义：

$$F_b(n_{\text{SRS}}) = \begin{cases} (N_b/2) \left\lfloor \frac{n_{\text{SRS}} \bmod \Pi_{b'=b_{\text{hop}}}^b N_{b'}}{\Pi_{b'=b_{\text{hop}}}^{b-1} N_{b'}} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{n_{\text{SRS}} \bmod \Pi_{b'=b_{\text{hop}}}^b N_{b'}}{2 \Pi_{b'=b_{\text{hop}}}^{b-1} N_{b'}} \right\rfloor & \text{if } N_b \text{ even} \\ \lfloor N_b/2 \rfloor \lfloor n_{\text{SRS}} / \Pi_{b'=b_{\text{hop}}}^{b-1} N_{b'} \rfloor & \text{if } N_b \text{ odd} \end{cases}$$

其中 $N_{b_{\text{hop}}} = 1$ （无论 N_b 取何值），且有

$$n_{\text{SRS}} = \begin{cases} 2N_{\text{SP}}n_f + 2(N_{\text{SP}} - 1) \left\lfloor \frac{n_s}{10} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{T_{\text{offset}}}{T_{\text{offset_max}}} \right\rfloor, & \text{for 2 ms SRS periodicity of frame structure type 2} \\ \lfloor (n_f \times 10 + \lfloor n_s/2 \rfloor) / T_{\text{SRS}} \rfloor, & \text{otherwise} \end{cases}$$

n_{SRS} 计算的是 UE 特定的 SRS 传输数目， T_{SRS} 和 T_{offset} 见 1.2 节介绍。

$T_{\text{offset_max}}$ 为特定 SRS 子帧偏移配置下的最大 T_{offset} 值。

1.6 Cyclic Shift

类似于 DMRS，多个 UE 可以在同一子帧使用相同的 RB、相同的“梳齿 \bar{k}_{TC} ”来发送 SRS，并使用同一 base sequence 的不同 cyclic shift（码分复用）来保证不同 SRS 传输之间的正交性。对 SRS 而言，定义了 8 个不同的 cyclic shift 值 $n_{SRS}^{cs} = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ 。不同 UE 的 cyclic shift 是通过 UE 级的配置参数 *cyclicShift*（周期性 SRS）和 *cyclicShiftAp-r10*（非周期性 SRS）下发给 UE。

1.7 SRS 的冲突处理

当 SRS 与 PUSCH 传输在同一 symbol 发生冲突时，UE 将不发送 SRS。例如：UE 在一个 serving cell 上要发送 SRS，而在另一个 serving cell 上要发送 PUSCH 且使用了最后一个 symbol，此时会丢弃 SRS。

当 SRS 与携带 ACK/NACK 和/或 SR 的 PUCCH（PUCCH format 1/1a/1b/3）在同一子帧发生冲突时，如果 *ackNackSRS-SimultaneousTransmission* 设置为 FALSE，则 UE 不会发送 SRS；如果 *ackNackSRS-SimultaneousTransmission* 设置为 TRUE，则 UE 会同时发送 SRS 和 PUCCH，且发送的 PUCCH 使用短格式（shortened format，即该子帧第 2 个 slot 的最后一个 symbol 不用于发送 PUCCH，见 36.211 的 5.4.1 节和 5.4.2A 节）。

ackNackSRS-SimultaneousTransmission 决定了 UE 是否支持在同一子帧上传输 SRS 和用于反馈 ACK/NACK 的 PUCCH。如果支持，则在 PCell 的小区特定的 SRS 子帧上（见 1.1 节），UE 将使用短 PUCCH 格式

（shortened PUCCH format）来传输 ACK/NACK 和 SR，即使在该子帧上没有 UE 发送 SRS 时，也是如此；否则，UE 会使用正常的 PUCCH format 1/1a/1b 和正常的 PUCCH format 3 来发送 ACK/NACK 和 SR。

由于 UE 只会在 PCell 上发送 PUCCH，所以对于 SCell 来说，并不关注 *ackNackSRS-SimultaneousTransmission*。

当在任意一个 serving cell 上传输的 SRS 与携带 ACK/NACK 和/或 SR 的正常 PUCCH（normal PUCCH format 1/1a/1b/3，不使用短格式）在同一子帧发生冲突时，UE 将不发送 SRS。

当周期性 SRS（type 0）与 PUCCH format 2/2a/2b 传输在同一子帧发生冲突时，UE 将不发送周期性 SRS。

当非周期性 SRS (type 1) 与 PUCCH format 2a/2b 传输, 或与带 HARQ 传输的 PUCCH format 2 在同一子帧发生冲突时, UE 将不发送非周期性 SRS。

当非周期性 SRS (type 1) 与不带 HARQ 传输的 PUCCH format 2 在同一子帧发生冲突时, UE 将不发送不带 HARQ 传输的 PUCCH format 2。

注: 从 36.213 的 10.1.1 节可以看出, 带 HARQ 传输的 PUCCH format 2 只在 extended CP 的情况下使用。且在 extended CP 下, 不支持 PUCCH format 2a/2b。

在 UpPTS 上, 当 SRS 传输所占的资源与 preamble format 4 的 PRACH 区域相重叠, 或超出了 serving cell 配置的上行系统带宽的范围时, UE 将不发送 SRS。

当 SRS 传输与 RAR 中的 UL grant 指定的 PUSCH 传输 (或同一 TB 的重传), 即 SRS 与基于竞争的随机接入中的 Msg3 或 Msg3 的重传, 在同一子帧上发生冲突时, UE 将不会发送 SRS。

【参考资料】

- [1] TS 36.211 的 5.5.3 节
- [2] TS 36.213 的 8.2 节
- [3] 《LTE - The UMTS Long Term Evolution, 2nd Edition》的 15.6 节和 29.2.2 节
- [4] 《4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband》的 11.2.2 节
- [5] 《[SRS](#)》