

ACCESO RADIO 5G NR

EL ESTÁNDAR 5G NR EN EL 3gpp

A finales de 2017, el 3gpp ha publicado las especificaciones TS (Technical Specifications) y los informes TR (Technical Reports) relativos a 5G en la llamada Release 15 (Versión 15). Constituyen la Nueva Serie 38.

Se originan como fruto del Tema de estudio (Study Item) de Marzo de 2016 sobre la “Nueva Radio 5G” (5G New Radio, NR).

No será retrocompatible (backward compatible) con los estándares 4G.

La red será autónoma (Stand Alone) en su versión final en 2020.

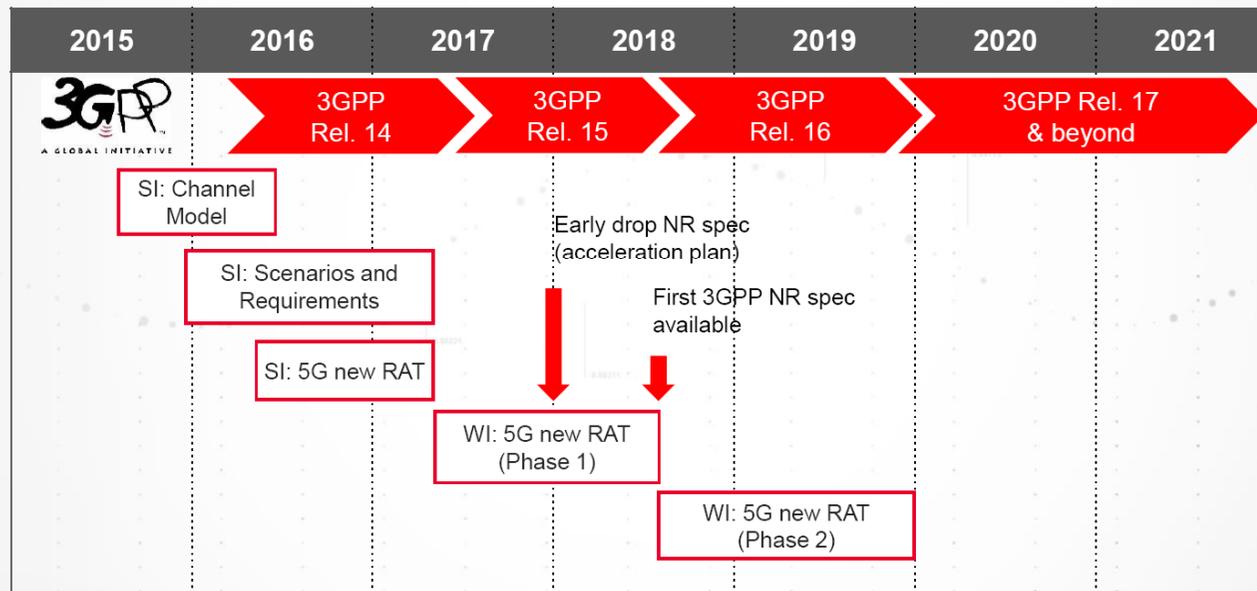
El desarrollo del estándar progresa en dos fases. En la primera (Diciembre 2017), se ha especificado una versión no autónoma (Non Stand Alone). Las comunicaciones del Plano de Control se “anclan” en la red LTE actual (LTE anchor).

En esta primera versión, no se incluyen algunas tecnologías o casos de uso y despliegue, como son D2D, V2V, mMTC, frecuencias superiores a 40 GHz y espectro no licenciado.

La segunda fase de red totalmente autónoma (Stand Alone) se ha completado en Junio de 2018.

3GPP NR RAN1 Roadmap

UPDATE ON 3GPP RAN1 NR ROADMAP



KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Understanding the 5G NR Physical Layer

Fuente: Keysight Technologies

VISIÓN GENERAL

Centrándonos en los aspectos radio de la capa física, se consolidan las características básicas, como:

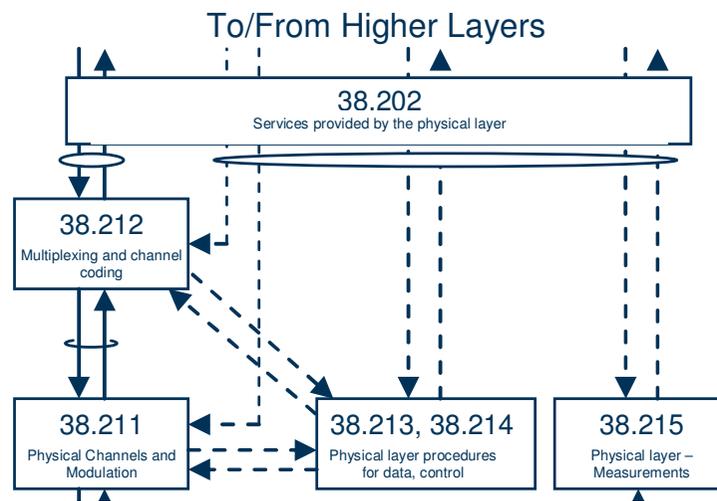
- Acceso múltiple y modulación.
- Estructura de trama.
- Codificación de canal.
- MIMO.
- Conformación de haces (beamforming).

Especificaciones básicas de la capa física

TS 38.201	NR; Physical layer; General description
TS 38.202	NR; Services provided by the physical layer
TS 38.211	NR; Physical channels and modulation
TS 38.212	NR; Multiplexing and channel coding
TS 38.213	NR; Physical layer procedures for control
TS 38.214	NR; Physical layer procedures for data
TS 38.215	NR; Physical layer measurements
TS 38.300	NR; Overall description; Stage-2

Fuente: <http://www.3gpp.org/>

Relaciones entre los documentos de especificaciones:



Fuente: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.201/

MULTIACCESO Y MODULACIÓN

Se ha optado por una solución “moderada”.

Se mantiene la OFDM básica de LTE-4G dotandola de gran flexibilidad, con opción de enventanado (windowing) y filtrado (filtering) para confinar el espectro, en caso de múltiples servicios que compartan la misma portadora.

La arquitectura de red es similar a la de LTE con canales lógicos, de transporte y físicos.

Se mantienen los canales físicos y señales físicas de LTE con variantes para dotarles de una mayor flexibilidad operativa.

Se amplían las modulaciones multinivel a 256 QAM.

Waveform

WAVEFORM, NUMEROLOGY AND FRAME STRUCTURE

- **Waveform** (for eMBB/URLLC and < 52.6 GHz)
 - DL Waveform: OFDM
 - UL Waveform: OFDM or SC-FDMA
 - OFDM targeted at high throughput scenarios
 - SC-FDMA targeted at power limited scenarios
- **Multiple Access**
 - Orthogonal Multiple Access
 - Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) not supported in Rel-15
- **Bandwidth**
 - Maximum CC bandwidth is 400 MHz
 - Maximum number of subcarriers is 3300
 - 4096-FFT is needed
 - Maximum number of CCs is 16

El módulo básico de asignación de recursos es el PRB (Physical Resource Block), formado por 12 subportadoras consecutivas. Puede haber varios PRBs de diferentes tamaños dentro de una misma anchura de banda.

Se introducen nuevos códigos de canal con corrección de errores: familia LDPC (Low Density Parity Check) y códigos polares.

ACCESO MULTIPLE

- En el enlace descendente:
 - OFDM con prefijo cíclico (CP-OFDM).
- En el enlace ascendente:
 - OFDM con prefijo cíclico (CP-OFDM) y, opcionalmente.
 - OFDM con preprocesado DFT: DFT-S-OFDM (similar a SC-FDMA).
- Transmisión en frecuencias:
 - Emparejadas (Paired), con FDD.
 - No emparejadas (Impaired), con TDD.
- No hay indicación explícita de anchuras de banda (Bandwidth agnostic).

Características básicas de 5G NR en la Rel 15

Gama de frecuencias	FR1: 450 MHz-6GHz FR2: 24,25-52,8 GHz
Anchura de banda máxima de la portadora	FR1: 100 MHz FR2: 400 MHz
Separación entre subportadoras	FR1: 15 KHz, 30 KHz, 60 KHz FR2: 60 KHz, 120 KHz, 240 KHz
Número máximo de subportadoras	3300 (hasta FFT de 4096)
Agregación de portadoras	Hasta 16 portadoras.
Modulaciones	CP-OFDM (UL/DL) QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM DFT-S-DFDM (UL) $\pi/2$ -BPSK, 1QAM, 64QAM, 256QAM
MIMO	MIMO 8X8 Hasta 8 capas en DL y hasta 4 capas en UL.

ESTRUCTURA TEMPORAL

- Tiempo de referencia:

$$T_c = \frac{1}{\Delta f_{max} \cdot N_f}$$

$$\Delta f_{max} = 480 \text{ kHz}; N_f = 4096$$

- Tiempo auxiliar (el mismo que el de referencia en LTE):

$$T_s = \frac{1}{\Delta f_{ref} \cdot N_{f,ref}}$$

$$\Delta f_{ref} = 15 \text{ kHz}; N_{f,ref} = 2048$$

$$k = T_s / T_c = 64$$

- Tramas Radio

La duración de la trama es:

$$T_{frame} = 10 \text{ ms} = 19.660.800 \cdot T_C$$

- El System Frame Number (SFN) es el indicador del número de la trama. Varía de 0 a 1023. Cuando alcanza el valor 1023 pasa a cero y empieza un nuevo ciclo.

El SFN se difunde por el MIB (Canal PBCH).

- Hay también una estructura de hipertrama con el indicador HFN (Hyperframe Number) que se incrementa en 1 cuando SFN completa un ciclo. El HFN se difunde por el SIB1.
- El ciclo de HFN es de 2,91 horas.

- La trama se divide en 10 subtramas (SF) de 1 ms, numeradas de 0 a 9.
- Cuando el indicador de subtrama llega a 9 pasa a 0 y se incrementa SFN en 1.
- La subtrama puede tener uno o múltiples intervalos (slots) consecutivos.
- Cada intervalo aloja 14 símbolos.
- En TDD la trama consta de dos semitramas, numeradas de 0 a 4 y de 5 a 9.
- El periodo de símbolo es variable, por lo que también lo es la separación entre las subportadoras OFDM.

- Se establece un parámetro de configuración μ que controla el número de intervalos por subtrama y el número de símbolos por subtrama:

$$N_{symb}^{subframe,\mu} = N_{symb}^{slot} \times N_{slot}^{subframe,\mu}$$

El número de intervalos por subtrama es :

$$N_{slot}^{subframe,\mu} = 2^{\mu}$$

Los intervalos se numeran en orden creciente dentro de la subtrama.

Para una configuración con parámetro μ .

$$n_s^\mu = 0, 1, \dots, N_{slot}^{subframe, \mu} - 1$$

Por ejemplo, para una subtrama configurada con $\mu = 2$

$$n_s^2 = 0, 1, 2, 3$$

El número de símbolos por intervalo es:

$$N_{\text{symp}}^{\text{slot}} = 14 \text{ para CP normal}$$

$$N_{\text{symp}}^{\text{slot}} = 12 \text{ para CP extendido}$$

En la Tabla que sigue se dan los valores que ha fijado la norma

Con Prefijo cíclico normal			
μ	$N_{\text{sybm}}^{\text{slot}}$	$N_{\text{slot}}^{\text{trame}, \mu}$	$N_{\text{slot}}^{\text{subtrame}, \mu}$
0	14	10	1
1	14	20	2
2	14	40	4
3	14	80	8
4	14	160	16
Con prefijo cíclico extendido			
2	12	40	4

Los símbolos de un intervalo pueden ser de 3 tipos:

- Símbolo solo descendente, designado por D.
- Símbolo solo ascendente, designado por U.
- Símbolo flexible (puede usarse como ascendente o descendente), designado por X.

Para los intervalos del enlace descendente, el terminal de usuario (UE) asume que los símbolos recibidos son de tipo D o X. Para el enlace ascendente el UE transmite solamente símbolos U o X.

El estándar ha previsto 256 formatos de intervalo, de los cuales 62 son explícitos y el resto está reservado para futuros usos. Se indican en el transparencia siguiente.

5G NR Slots Formats

TS 38.211 TABLE 4.3.2-3: SLOT FORMATS

D: Downlink symbol
 U: Uplink symbol
 X: Flexible symbol

Format	Symbol number in a slot													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
1	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X
4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X
5	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X
6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X	X
7	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X	X	X	X
8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U
10	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
11	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
12	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
13	X	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
14	X	X	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U
15	X	X	X	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U
16	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
20	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U
21	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U
22	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U
23	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U
24	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U
25	D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U	U	U
26	D	D	X	X	X	X	X	X	X	X	U	U	U	U
27	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	U	U	U	U
28	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	U	U
29	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	U
30	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X	U	U

31	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	U	U
32	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	U	U
33	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X	U	U
34	D	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
35	D	D	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
36	D	D	D	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
37	D	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
38	D	D	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
39	D	D	D	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
40	D	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
41	D	D	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U	U
42	D	D	D	X	X	X	U	U	U	U	U	U	U	U	U
43	D	D	D	D	D	D	D	D	D	X	X	X	X	U	U
44	D	D	D	D	D	D	X	X	X	X	X	X	X	U	U
45	D	D	D	D	D	D	X	X	U	U	U	U	U	U	U
46	D	D	D	D	D	D	X	D	D	D	D	D	D	X	X
47	D	D	D	D	D	X	X	D	D	D	D	D	D	X	X
48	D	D	X	X	X	X	X	D	D	X	X	X	X	X	X
49	D	X	X	X	X	X	X	D	X	X	X	X	X	X	X
50	X	U	U	U	U	U	U	X	U	U	U	U	U	U	U
51	X	X	U	U	U	U	U	X	X	U	U	U	U	U	U
52	X	X	X	U	U	U	U	X	X	X	U	U	U	U	U
53	X	X	X	X	U	U	U	X	X	X	U	U	U	U	U
54	D	D	D	D	D	X	U	D	D	D	D	D	X	U	U
55	D	D	X	U	U	U	U	D	D	X	U	U	U	U	U
56	D	X	U	U	U	U	U	D	X	U	U	U	U	U	U
57	D	D	D	D	X	X	U	D	D	D	D	X	X	U	U
58	D	D	X	X	U	U	U	D	D	X	X	U	U	U	U
59	D	X	X	U	U	U	U	D	X	X	U	U	U	U	U
60	D	X	X	X	X	X	X	U	D	X	X	X	X	X	U
61	D	D	X	X	X	X	U	D	D	X	X	X	X	X	U
62 – 255	Reserved														

ESTRUCTURA FRECUENCIAL

Se establecen diferentes numerologías (combinaciones de separación de subportadoras y prefijo cíclico) en función del valor de μ .

Se indican en la Tabla que sigue

μ	$\Delta f = 2^\mu \cdot 15$ [kHz]	Cyclic prefix
0	15	Normal
1	30	Normal
2	60	Normal, Extended
3	120	Normal
4	240	Normal

Fuente: www.sharetechnote.com

La separación entre subportadoras, Δf , es múltiplo de 15 KHz (valor usado en LTE) para facilitar la combinación de transmisiones 4G y 5G.

En las transparencias que siguen se detalla la estructura de trama combinando las dimensiones de tiempo y de frecuencia.

Duración de los símbolos y prefijos cíclicos

- Tiempo útil de símbolo

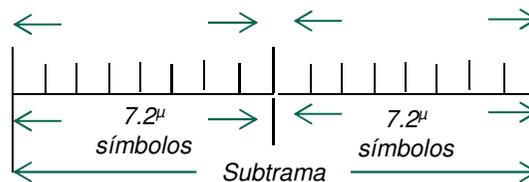
$$T_u = \frac{1}{15 \cdot 2^\mu} (ms)$$

en términos del tiempo de referencia

$$T_u = \frac{131072}{2^\mu} \cdot T_c$$

- Estructura de la subtrama con CP normal

La subtrama se divide en dos partes con $7 \cdot 2^\mu$ símbolos cada una



El primer símbolo 0 de cada parte tiene un prefijo cíclico de valor

$$CP_0 = \left(\frac{9216}{2^\mu} + 1024 \right) T_C$$

Los símbolos restantes tienen un prefijo cíclico de valor:

$$CP_i = \frac{9216}{2^\mu} \cdot T_C \quad (i = 1, \dots, 7 \cdot 2^\mu - 1)$$

Las duraciones totales de los símbolos, son:

- Primeros símbolos

$$t_0 = \left(\frac{140288}{2^\mu} + 1024 \right) \cdot T_C$$

- Restantes símbolos

$$t_i = \left(\frac{140288}{2^\mu} \right) \cdot T_C$$

Se comprueba que

$$2t_0 + 2 \cdot (7 \cdot 2^\mu - 1) \cdot t_i = 1966080T_C$$

que es la duración de la subtrama.

En las Tablas que siguen se dan valores en términos de T_C y en microsegundos.

Duraciones de símbolos en términos de T_c

μ	Prefijo cíclico		Duración Total	
	Símbolo 0	Símbolo i	Símbolo 0	Símbolo i
0	10240	9216	141312	140288
1	5632	4608	71168	70144
2	3328	2304	36096	35072
3	2176	1152	18560	17536
4	1600	576	9792	8768

Duraciones de símbolos en μs :

μ	Prefijo cíclico		Duración Total	
	Símbolo 0	Símbolo i	Símbolo 0	Símbolo i
0	5,21	4,69	71,87	71,35
1	2,86	2,34	36,2	35,67
2	1,69	1,17	18,36	17,84
3	1,11	0,59	9,44	8,92
4	0,81	0,29	4,98	4,46

Los rendimientos de símbolo definidos como

$$\frac{\textit{Tiempo util de símbolo}}{\textit{Tiempo total de símbolo}}$$

para los símbolos 0 varían entre el 83,7% ($\mu=4$) u el 92,8% ($\mu=0$). Para los demás símbolos el rendimiento es del 90,4%.

- Estructura de la subtrama con CP extendido

Este caso solo es aplicable con $\mu=2$ y 12 símbolos por intervalo.

Todos los símbolos tienen la misma duración de su prefijo cíclico de valor:

$$CP_{ext} = 8192 \cdot T_C \rightarrow 4,2\mu s$$

La duración total del símbolo es

$$T_{simb} = \left(\frac{131072}{2\mu} \right) \cdot T_C + CP_{ext}$$

Dando valores $T_{simb} = 40960 \cdot T_C \rightarrow 20,83\mu s$

El rendimiento es del 93,7%

Como el intervalo tiene 12 símbolos y la subtrama tiene 4 intervalos hay 48 símbolos por subtrama y

$48 \times 4096 \cdot T_C = 1966080 \cdot T_C$, es decir 1 ms, duración de la trama

ASIGNACIÓN DE RECURSOS Y VELOCIDAD DE BITS

La asignación se hace mediante bloques de recursos de 12 subportadoras consecutivas en frecuencia y un periodo de símbolo en el tiempo.

La duración media del símbolo es:

$$T_{simb} = \frac{1}{14 \cdot 2^\mu} \text{ milisegundos}$$

En una subportadora hay $N_{mod} = \log_2 M$ bits, siendo M el número de estados de modulación.

La tasa o velocidad de bits para una subportadora es:

$$R_{subp} = \frac{N_{mod}}{T_{simb}} = 14 \times N_{mod} \times 2^\mu \text{ (kbit/s)}$$

Como un RB tiene 12 subportadoras la tasa por RB es:

$$R_{RB} = 168 \times N_{mod} \times 2^{\mu} \quad (kbit/s)$$

y para N_{RB} bloques de recursos, queda:

$$R = 168 \times N_{mod} \times N_{RB} \times 2^{\mu} \quad (kbit/s)$$

En caso de transmisión con MIMO el valor anterior se multiplicará por el número de flujos de MIMO (2, 4, 8, ...)

EJEMPLO

Para una anchura de banda de transmisión $BW=400$ MHz el número de RB, es $N_{RB}=264$. Con $\mu = 3, \Delta f = 120 \text{ kHz}$ y $M = 256, N_{mod}$ es 8 y si solo hay un flujo:

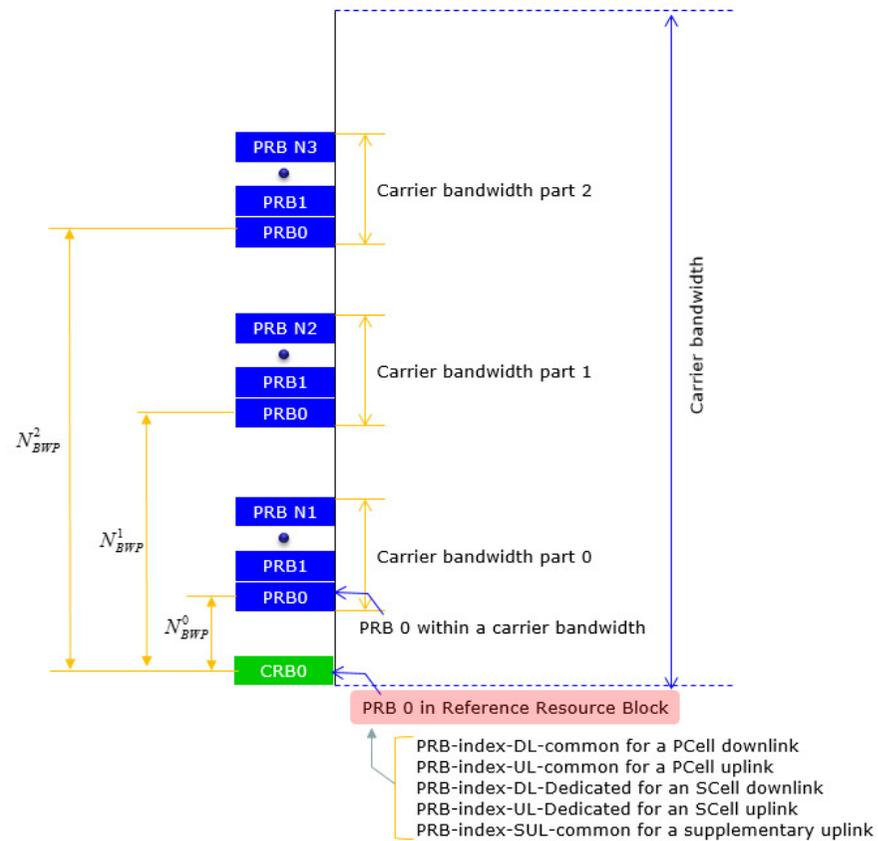
$$R = 168 \times 8 \times 264 \times 2^3 = 2.838.528 \text{ kbit/s} \quad (2,8 \text{ Gbit/s})$$

ANCHURAS DE BANDA

Se prevé la subdivisión de la anchura de banda global de una portadora en segmentos o partes de diferentes anchuras.

Se llaman “Carrier bandwidth part (BWP) N” y son PRBs consecutivos con una numerología determinada.

En la transparencia siguiente se muestra una ilustración con la nomenclatura utilizada.



Fuente: www.sharetechnote.com

CWP: Carrier Bandwidth Part

CRB0: Common Resource Block 0

N_{BWP}^0 : Comienzo de los RB de la BWP 0

N_{BWP}^1 : Comienzo de los RB de la BWP1

Cada BWP puede tener su propia numerología, es decir, se puede configurar con sus propias características de señal. Ello facilita la coexistencia entre diferentes servicios.

El esquema es válido tanto para el enlace descendente como para el ascendente. En el primer caso (enlace descendente):

- El equipo de usuario UE puede configurarse para recibir hasta con 4 CWP.
- En cada momento solo puede estar activa una CWP.
- El UE no espera recibir los canales físicos PDSCH, PDCCH ni las señales físicas CSI-RS TRS fuera de la CWP activa.

En el enlace ascendente:

- El UE puede configurarse para transmitir hasta 4 CWP.
- En cada momento solo puede estar activa una CWP.
- El UE puede configurarse con un enlace suplementario, con una capacidad de hasta 4 CWP, pero con solo una de ellas activa en un momento dado.
- El UE no transmitirá los canales físicos PUSCH ni PUCCH fuera de una CWP activa.

COMPARACIÓN LTE-5G NR

LTE vs. NR Comparison

	LTE	New Radio (Based on 3GPP Rel. 15)
Frequency band	Sub-6 GHz	Sub-6 GHz, mmWave (up to 52.6 GHz)
Maximum Bandwidth (per CC)	20 MHz	50 MHz (@ 15 kHz), 100 MHz (@ 30 kHz), 200 MHz (@ 60 kHz), 400 MHz (@120 kHz)
Maximum CCs	5 (Rel.10) / 32 (Rel.12). Current implementation is 5.	16 (allowed BW and CCs combinations TBD)
Subcarrier Spacing	15 kHz	2 ⁿ · 15 kHz TDM and FDM multiplexing
Waveform	CP-OFDM for DL; SC-FDMA for UL	CP-OFDM for DL; CP-OFDM and DFT-s-OFDM for UL
Modulation	Up to 256 QAM DL (moving to 1024 QAM); Up to 64 QAM UL	Up to 256 QAM UL & DL
Maximum Number of Subcarriers	1200	3300
Subframe Length	1 ms (moving to 0.5 ms)	1 ms
Latency (Air Interface)	10 ms (moving to 5 ms)	1 ms
Slot Length	7 symbols in 500 μs	14 symbols (duration depends on subcarrier spacing) 2, 4 and 7 symbols for mini-slots
Channel Coding	Turbo Code (data); TBCC (control)	LDPC (data); Polar Codes (control)
Initial Access	No beamforming	Beamforming
MIMO	Up to 8x8	Up to 8x8 for sub 6G, up to 2x2 for mmWave
Reference signals	UE Specific DMRS and Cell Specific RS	Front-loaded DMRS (UE-specific)
Duplexing	FDD, Static TDD	FDD, Static TDD, Dynamic TDD

GAMAS DE FRECUENCIAS

Se definen dos gamas:

FR1 (Frequency Range 1), por debajo de 6 GHz.

FR2 (Frequency Range 2), por encima de 6 GHz.

Frequency range designation	Corresponding frequency range
FR1	450 MHz – 6000 MHz
FR2	24250 MHz – 52600 MHz

Fuente: www.sharetechnote.com

En las Tablas que siguen se muestran las bandas de cada gama con su nomenclatura, anchura de banda, tipo de enlace (UL o DL) y modo de duplexión.

NR Operating Band	Uplink (UL) operating band		Downlink (DL) operating band			Duplex Mode
	BS receive		BS transmit			
	UE transmit		UE receive			
	F _{UL_low}	F _{UL_high}	total BW	F _{DL_low}	F _{DL_high}	
n1	1920 MHz-1980 MHz	60	2110 MHz-2170 MHz	60	FDD	
n2	1850 MHz-1910 MHz	60	1930 MHz-1990 MHz	60	FDD	
n3	1710 MHz -1785 MHz	75	1805 MHz-1880 MHz	75	FDD	
n5	824 -849 MHz	25	869 MHz-894MHz	25	FDD	
n7	2500 MHz-2570 MHz	70	2620 MHz-2690 MHz	70	FDD	
n8	880 MHz-915 MHz	35	925 MHz-960 MHz	35	FDD	
n20	832 MHz-862 MHz	30	791 MHz-821 MHz	30	FDD	
n28	703 MHz-748 MHz	45	758 MHz-803 MHz	45	FDD	
n38	2570 MHz-2620 MHz	50	2570 MHz-2620 MHz	50	TDD	
n41	2496 MHz-2690 MHz	194	2496 MHz-2690 MHz	194	TDD	
n50	1432 MHz-1517 MHz	85	1432 MHz-1517 MHz	85	TDD	
n51	1427 MHz-1432 MHz	5	1427 MHz-1432 MHz	5	TDD	
n66	1710 MHz-1780 MHz	70	2110 MHz-2200 MHz	90	FDD	
n70	1695 MHz-1710 MHz	15	1995 MHz-2020 MHz	25	FDD	
n71	663 MHz-698 MHz	35	617 MHz-652 MHz	35	FDD	
n74	1427 MHz-1470 MHz	43	1475 MHz-1518 MHz	43	FDD	
n75	N/A		1432 MHz -1517 MHz	85	SDL	
n76	N/A		1427 MHz -1432 MHz	5	SDL	
n78	3300 MHz-3800 MHz	500	3300 MHz - 3800 MHz	500	TDD	
n77	3300 MHz- 4200 MHz	900	3300 MHz - 4200 MHz	900	TDD	
n79	4400 MHz-5000 MHz	600	4400 MHz - 5000 MHz	600	TDD	
n80	1710 MHz-1785 MHz	75	N/A		SUL	
n81	880 MHz-915 MHz	35	N/A		SUL	
n82	832 MHz-862 MHz	30	N/A		SUL	
n83	703 MHz-748 MHz	45	N/A		SUL	
n84	1920 MHz-1980 MHz	60	N/A		SUL	

Fuente: www.sharetechnote.com

SUL: Supplementary Up Link

Para la gama F2

SCS (kHz)	50MHz	100MHz	200MHz	400 MHz
	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}	N_{RB}
60	66	132	264	N.A
120	32	66	132	264

(A) (B) (C)

N/A. Not Applicable

CANALES Y SEÑALES FÍSICAS

Se especifican los mismos canales físicos que en LTE pero con variantes que les otorgan gran flexibilidad operativa.

Es de destacar:

- Acomodación a la estructura de BWP.
- Inclusión de las señales de referencia (DMRS) en el propio canal.
- Influencia del funcionamiento multihaz.
- Se consolida la modulación 256QAM para los enlaces ascendente y descendente.
- Se introduce la modulación $\pi/2$ BPSK para señalización de control en el enlace ascendente.

Seguidamente se describirán algunos de los canales físicos diseñados con estas innovaciones.

Funcionamiento Multihaz

La especificación de los canales físicos tiene en cuenta las múltiples configuraciones posibles previstas para 5G NR.

Destacamos, como ejemplo, la posibilidad de utilizar múltiples haces directivos de radiación: configuración de haces (beamforming), cuando se emplean las bandas de ondas milimétricas para compensar la mayor pérdida de propagación en estas bandas.

Esto influye particularmente en los procedimientos de acceso inicial (canal PRACH) y en la sincronización y difusión (SSB).

En la estación base se realiza el “beamsweeping” (barrido de haz). Se van emitiendo, secuencialmente, haces estrechos con distintas orientaciones.

El UE debe explorar esos haces y seleccionar aquel por el que reciba mayor señal. Este proceso será repetitivo según el UE se vaya desplazando.

Se plantean las siguientes cuestiones:

- Barrido de Haz
 - Como identifica y selecciona el UE el mejor haz para la recepción desde el gNB.
 - Como identifica y selecciona el gNB el mejor haz para la recepción del UE.

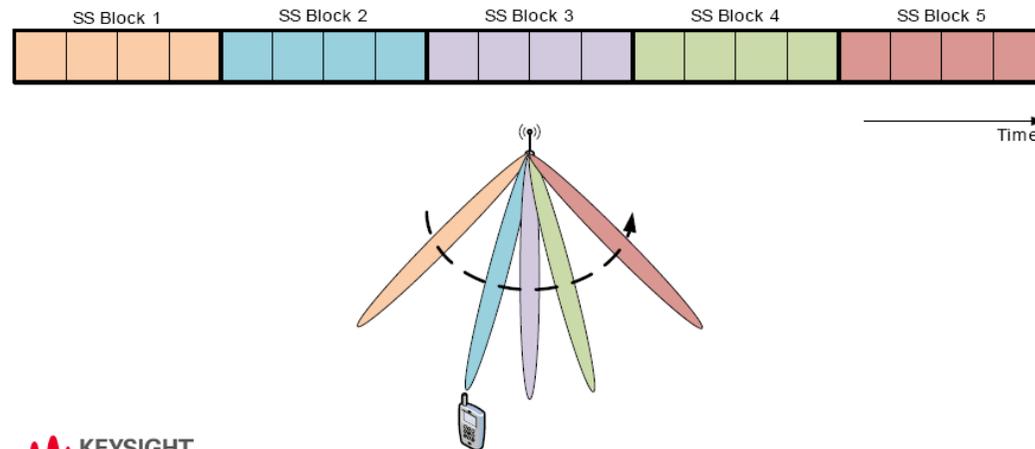
- Acceso inicial
 - Como afecta la configuración de haces al procedimiento de acceso inicial.
 - Influencia del barrido de haz en el diseño de las señales que intervienen en el acceso inicial.
 - Incidencia del acceso inicial en la coexistencia NR-LTE.

Barrido de haz y acceso inicial

Se transmite la información de sincronización y de difusión SSB de forma secuencial en el tiempo por los diferentes haces.

Beam-Sweeping and Initial Access

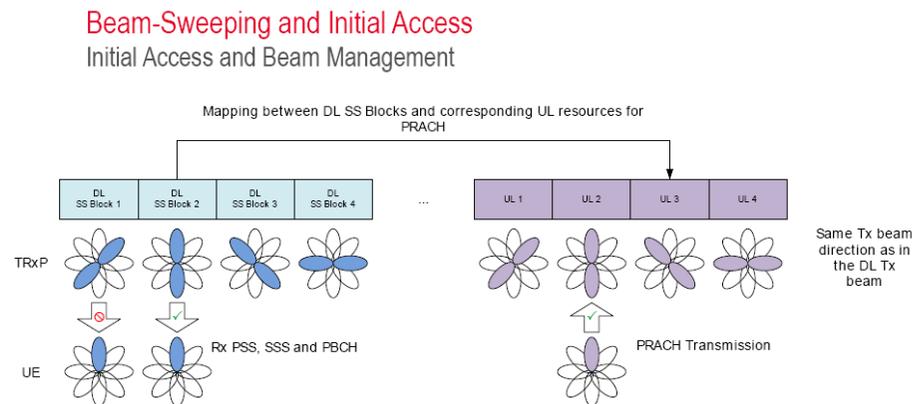
Initial Access and Beam Management



El UE selecciona el haz por el que recibe mejor el canal SSB.

Transmite la ráfaga de acceso (PRACH) usando un conjunto de recursos asociados al canal SSB elegido.

Se establece así una asociación entre los haces en ambos enlaces.



BLOQUE SSB

Se agrupan en este bloque las señales físicas descendentes primaria y secundaria de sincronización y el canal físico de difusión PBCH con su DMRS asociada (DMSR/PBCH).

El bloque esta formado por:

- 4 símbolos (0, 1, 2, 3) en el dominio del tiempo.
- 240 subportadoras (0, 1, ..., 239) en el dominio de la frecuencia (20 RBs).
- En total $4 \times 240 = 960$ elementos de recursos.

Canal PDCCH

Se utiliza para transportar la DCI (Downlink Control Information), por ejemplo asignaciones de recursos en DL y concesiones (grants) en UL.

Ocupa un conjunto de recursos en tiempo y frecuencia englobados en el llamado CORESET (COntrol REsource SET) .

Incluye las propias señales de control y su DMRS asociado.

Admite una configuración muy flexible para adaptarse a las diferentes numerologías, bandas de frecuencias y casos de uso.

Usa modulación QPSK.

El CORESET consta de múltiples Resource Blocks (RB) en el dominio de la frecuencia y 1, 2 o 3 símbolos OFDM en el dominio del tiempo.

Los parámetros de dimensiones (en f y t) del CORESET se transmiten en mensajes de la capa RRC no en canales de control específicos como en LTE.

Parámetros del CORESET:

- RE (Resource Element) como en LTE:
1 Subportadora y 1 símbolo OFDM
- REG (Resource Element Group)
1 RB (12 subportadoras) y 1 símbolo OFDM
- REG bundles (Haces de REGs)
Conjuntos de L (tamaño del haz) REGs
- CCE (Control Channel Element)
Constituido por múltiples REGs
- Aggregation Level (Nivel de agregación)
Número de CCEs asignados al PDCCH

Correspondencia Aggregation Level-CCEs

Aggregation Level	Número de CCEs
1	1
2	2
4	4
8	8
16	16

Dimensiones del CORESET

$N_{RB}^{CORESET}$: Número de RBs en un CORESET

Lo especifica el mensaje RRC:

CORESET-freq-dom

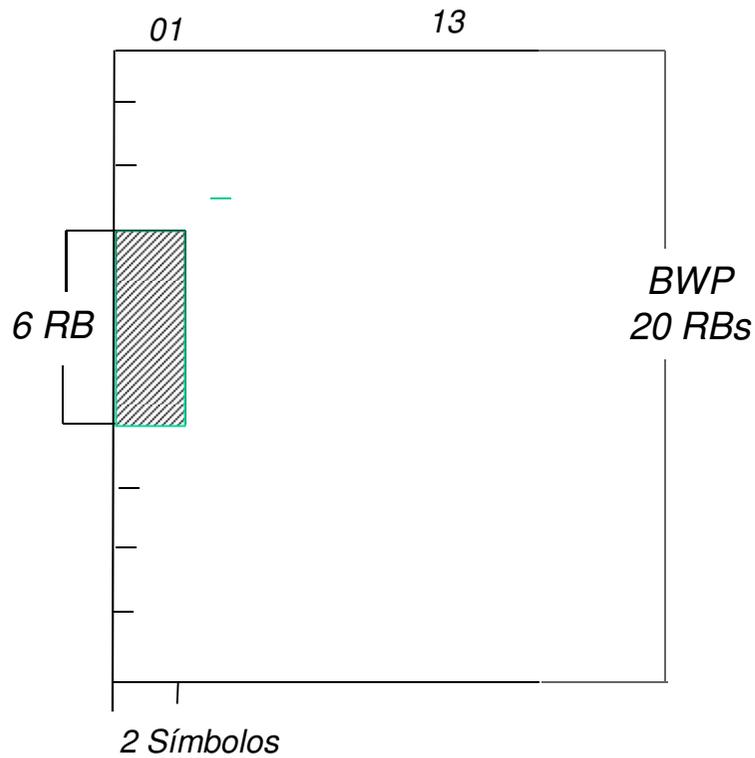
La anchura de banda que ocupen debe estar dentro de la BWP asignada a la conexión.

$N_{Symb}^{CORESET}$: Número de símbolos OFDM (1, 2 o 3) utilizados por el CORESET. Lo especifica el mensaje RRC: CORESET-time-dur

$N_{REG}^{CORESET}$: Número de REGs del CORESET

L : Tamaño del haz (Bundle).

Ejemplo:



$$N_{RB}^{CORESET} = 6$$

$$N_{Symb}^{CORESET} = 2$$

$$N_{RE}^{CORESET} = 6 \times 12 \times 2 = 144$$

$$N_{REG}^{CORESET} = 6 \times 2 = 12$$

$$Agg\ Level = 1$$

$$N_{CCE}^{CORESET} = 1$$

$$L = 6$$

$$Número\ de\ haces: \frac{12}{6} = 2$$

Canal PUCCH

Transporta las señales de UCI (Uplink Control Information) HARQ-ACK de los datos descendentes y peticiones de asignación SR (Scheduling Requests).

Hay dos tipos: Corto y Largo, según formato.

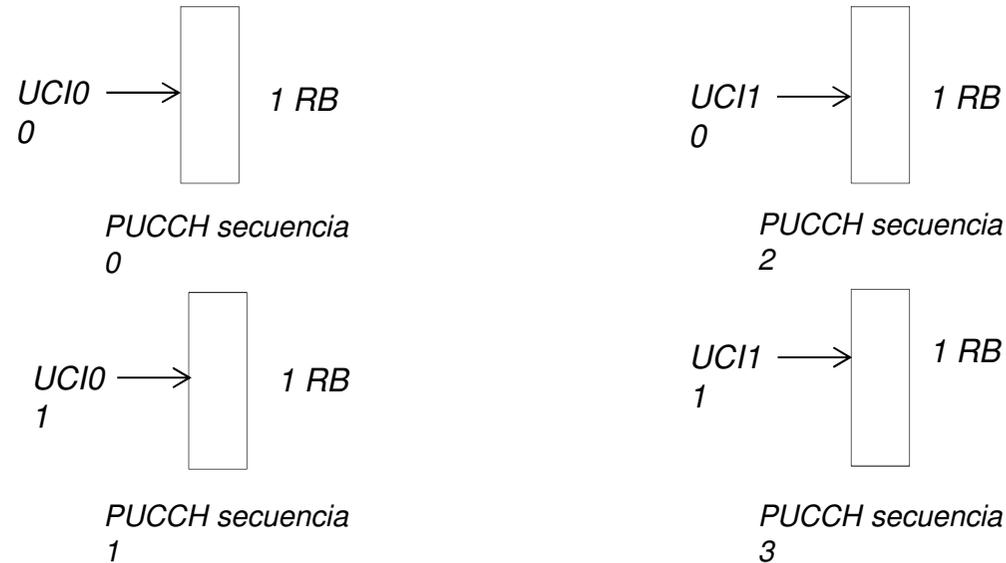
Utiliza secuencias de longitud 12 RE y PAPR baja.

Puede usar salto de frecuencia.

Formato PUCCH	Número de símbolos OFDM de PUCCH	Número de bits
0 (Corto)	1-2	≤ 2
1 (Largo)	4-14	≤ 2
2 (Corto)	1-2	> 2
3 (Largo)	4-14	$> 2, < N$
4 (Largo)	4-14	$> N$

Los formatos 0 y 1 se aplican a UCIs con 1 o 2 bits

Ejemplo:

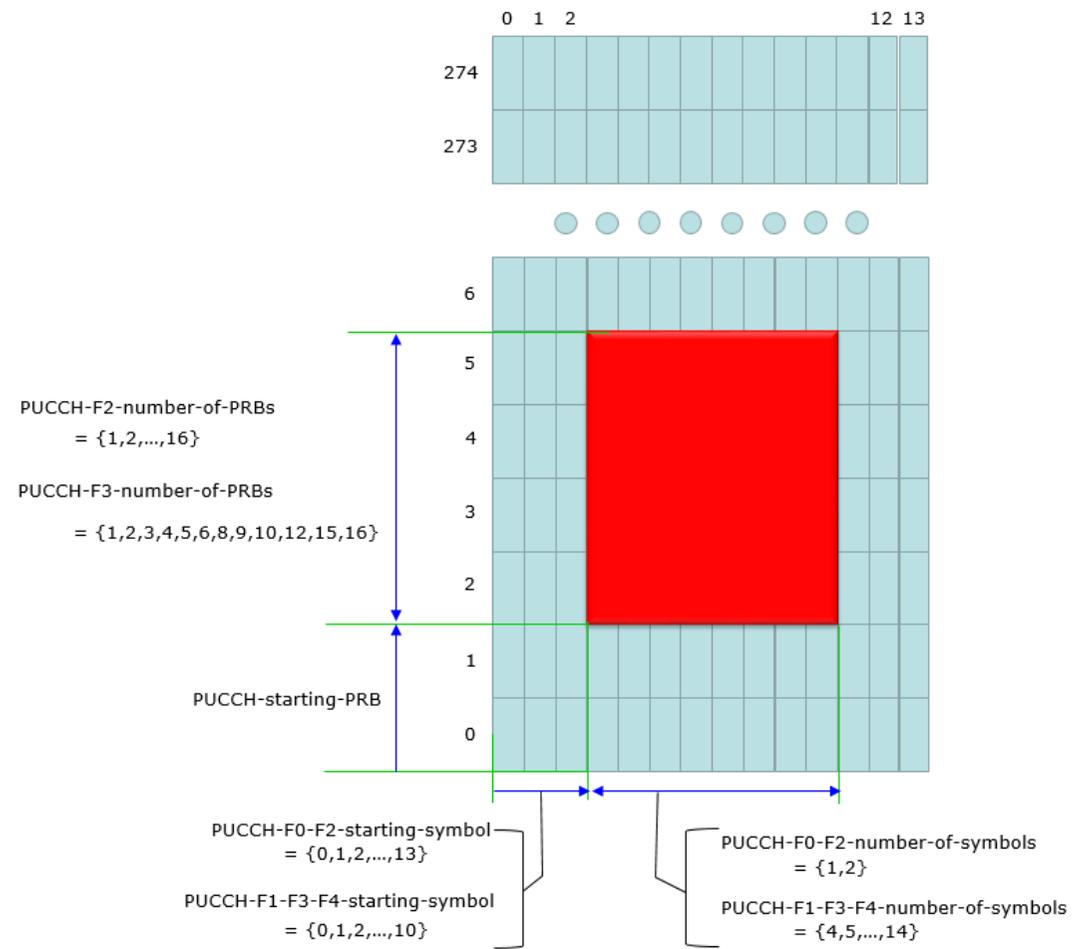


En los formatos 1, 3 y 4 los símbolos que llevan DMRS van multiplexados en tiempo con los símbolos que llevan la UCI.

En el formato 2 la DMRS va multiplexada en frecuencia con las subportadoras de datos.

Parámetros de PUCCH

- Número de RBs (solo para los formatos 2 y 3).
- PRB inicial (Starting PRB): donde empiezan los RBs del PUCCH.
- Símbolo inicial (Starting Symbol) donde empiezan los símbolos del PUCCH.
- Número de símbolos.



Fuente: www.sharetechnote.com

PRACH

El canal físico PRACH se utiliza como en LTE para:

- Acceso inicial.
- Restablecimiento de conexiones.
- Traspasos.
- Recuperación de sincronización temporal.
- Avance de Tiempo.
- Petición de conexión.

Como en LTE hay dos modalidades de acceso

- Contienda
- No contienda

con sus correspondientes grupos de preámbulos de acceso (no restringidos o restringidos).

La diferencia fundamental radica en la posibilidad de uso de la configuración de haz.

Cuando se opera en estas condiciones (beamforming), el UE necesita detectar y seleccionar el mejor haz para enviar por el preámbulo.

Por ello se ofrecen distintas “oportunidades de acceso” en tiempos diferentes.

Otra diferencia importante es que en el PRACH de 5G NR hay dos clases de preámbulos de PRACH:

- Preámbulo de secuencia larga, de longitud $L_{RA}=839$ para separaciones de subportadoras de 1,25 kHz o 5 kHz.
- Preámbulo de secuencia corta, de longitud $L_{RA}=139$ para separaciones de subportadoras que dependen del parámetro “ μ ”.

En cada caso hay diferentes formatos de preámbulo como se indica seguidamente:

Formatos para preámbulos largos:

Formato	L_{RA}	$\Delta f_{(kHz)}^{RA}$	N_u	N_{CP}^{RA}
0	839	1,25	$24576 \cdot k$	$3168 \cdot k$
1	839	1,25	$2 \cdot 24576 \cdot k$	$21024 \cdot k$
2	839	1,25	$4 \cdot 24576 \cdot k$	$4688 \cdot k$
3	839	5	$4 \cdot 6144 \cdot k$	$3168 \cdot k$

- Recordamos que $k = T_c / T_s = 64$
- N_u es la duración de la secuencia de preámbulo en unidades T_c

- Para $\Delta f = 1,25 \text{ kHz}$ la duración o tiempo útil es $1/\Delta f$:
 $\frac{1}{1250}$ segundos que equivale a $(1/1250)/(1/1500 \cdot 2048)T_s$
 es decir $24576T_s$ y a $24576 \times 64T_c$
- N_{CP}^{RA} es la duración del prefijo cíclico en unidades T_c
- Para $\Delta f = 5 \text{ kHz}$, el tiempo útil es $\frac{1}{5000}$ segundos que
 equivale a $(1/5000)/(1/1500 \cdot 2048)T_s$
 es decir $6144T_s$ y a $6144 \times 64T_c$

Formatos para preámbulos cortos

Table 6.3.3.1-2: Preamble formats for $L_{RA} = 139$ and $\Delta f^{RA} = 15 \cdot 2^\mu$ kHz where $\mu \in \{0,1,2,3\}$.

Format	L_{RA}	Δf^{RA}	N_u	N_{CP}^{RA}	Support for restricted sets
A1	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$2 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$288 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
A2	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$4 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$576 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
A3	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$6 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$864 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
B1	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$2 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$216 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
B2	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$4 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$360 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
B3	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$6 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$504 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
B4	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$12 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$936 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
C0	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$1240 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-
C2	139	$15 \cdot 2^\mu$ kHz	$4 \cdot 2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	$2048 \kappa \cdot 2^{-\mu}$	-

Fuente: 3GPP TS 38.211 V15.3.0 (2018-09)

Como antes N_u es la longitud del preámbulo en unidades T_c .

El tiempo útil básico es

$$T_u = \frac{1}{\Delta f} = \frac{1}{15 \cdot 2^\mu} (ms) = \frac{1}{15} \cdot 2^{-\mu} (ms)$$

En unidades T_s :

$$T_u = (1/15000)/(1/1500 \cdot 2048) \cdot 2^{-\mu} T_s$$

$$T_u = 2048 \cdot 2^{-\mu} \cdot T_s \text{ o bien } 2048 \cdot 2^{-\mu} \cdot k T_c$$

Por lo tanto los formatos salvo el C0 tienen varios símbolos de preámbulo.

Por ejemplo el A1 tiene 2 símbolos.

El parámetro que determina cuando puede el UE enviar el preámbulo (en que trama/subtrama), con que formato y cuantas posibilidades tiene, es el llamado PRACH-Configuration Index).

Para la sub-banda FR1 y acceso FDD, la especificación TS 38.211 proporciona una Tabla con 256 posibles valores de este parámetro.

Se muestra un extracto de esta Tabla y con algunos ejemplos

Table 6.3.3.2-2: Random access configurations for FR1 and paired spectrum/supplementary uplink.

PRACH Configuration Index	Preamble format	$n_{SFN} \bmod x = y$		Subframe number	Starting symbol	Number of PRACH slots within a subframe	$N_t^{RA,slot}$, number of time-domain PRACH occasions within a PRACH slot	N_{dur}^{RA} , PRACH duration
		x	y					

Fuente: 3GPP TS 38.211 V15.3.0 (2018-09)

Columnas de la Tabla

- La primera es el valor del Índice de configuración.
- La segunda indica el formato del Preámbulo.
- La tercera indica en que tramas puede el UE transmitir el PRACH.

Lo hace mediante la variable n_{SFN} que expresa el número de la trama (Serial Frame Number) y dos parámetros x e y .

Las tramas posibles se obtienen de la relación

$$N \cdot x + y$$

Siendo N un número entero.

Por ejemplo, para $x = 16$ e $y = 1$ es posible transmitir el PRACH en las tramas

$$16 \cdot N + 1 = 1, 17, 33, \dots$$

- La cuarta columna indica en que subtrama (0, 1, ...,9) dentro de la trama puede transmitirse el PRACH.
- La quinta columna indica la posición del primer símbolo del PRACH.
- La sexta columna indica el número de intervalos posibles dentro de cada subtrama.
- La séptima columna da el número de “ocasiones” del PRACH dentro de cada intervalo, es decir, si se usa configuración de haz posibilidades de búsqueda del mejor haz.

- La octava y última columna da la duración del PRACH.
Para los formatos 0 a 3 el PRACH ocupa toda la subtrama por lo que no indican los valores de las últimas tres columnas.
Para los formatos A, B y C hay diversas posibilidades que se indican en las tres últimas columnas.

Ejemplos:

1. Índice 25:

- Formato de preámbulo 0
- PRACH posible en todas las tramas y en las subtramas pares

2. Índice 90:

- Formato A1.
- PRACH posible en tramas múltiples de 8 mas1: 1, 9, 17,...
- En la subtrama 4 de aquellas tramas.
- En 2 intervalos de esas subtramas.
- Hay 6 ocasiones de acceso en cada intervalo.
- La duración del PRACH es de 2 símbolos.

3. Índice 177:

- Formato B1.
- PRACH posibles en tramas múltiples de 16 (0, 16, 32, ..)
- En las subtramas 4 y 9
- En un intervalo
- Con 7 posibilidades de acceso.
- Duración 2 símbolos

Por lo demás la estructura de los preámbulos 7 es similar a LTE.

Se usan secuencias de Zadoff-Chu y sus desplazamientos cíclicos con los parámetros que se explicaron en la descripción de PRACH de la UD4.