

TENDENCIAS

Uso de bandas milimétricas en 5G. Modelos de canal radio

Varios miembros del Grupo del Espectro del COIT analizan en el presente artículo “dónde” ubicar 5G. Es decir, en qué nuevas bandas de frecuencias se ubicará 5G con el objetivo puesto en el aumento de capacidad. Apuntan a las bandas milimétricas.

En nuestro anterior artículo (“Visiones y tecnologías 5G” [1]), presentamos una visión general de la tendencia futura de las comunicaciones móviles que se ha convenido en denominar genéricamente “5G”, y que en el seno de la UIT se denomina como IMT2020. También se identificaba un conjunto de tendencias tecnológicas que afectan al espectro, concretamente el “uso de bandas milimétricas”.

Como expusimos en dicho artículo, la industria, operadores y reguladores plantean un conjunto común de requisitos que incluye velocidades máximas de datos de hasta 10 Gb/s y 100 Mb/s en el borde celular y latencias inferiores a 1 ms. Esto supone un incremento sustancial y muy significativo de la capacidad. Todo un reto técnico, para el que se están considerando soluciones como la utilización de haces de radiación configurables (beamforming), incluso en 3D, o el MIMO masivo. Sin embargo, más allá de innovaciones en la interfaz radio, (en el “cómo”), lo cierto es que también se está trabajando en el “dónde”, o lo que es lo mismo: en qué nuevas bandas de frecuencias ubicar la 5G con vistas al soporte de mayores capacidades. En concreto, aquellas por encima de 6 GHz y por debajo de 100 GHz. Tradicionalmente descartadas para las redes móviles por sus restrictivas características de propagación, que las hacen aptas solo para reducidas coberturas, principalmente por visibilidad directa, son actualmente – necesidad obliga - objeto de estudio



José Mª Hernando Rábanos

Miembro del Grupo del Espectro del COIT

✉ hernando446@gmail.com



Cayetano Lluch Mesquida

Miembro del Grupo del Espectro del COIT

✉ lluch_c@coit.es



Juan Manuel Vázquez Burgos

Miembro del Grupo del Espectro del COIT

✉ jumavaz@coit.es

como una posible alternativa, sobre todo para dos tipos de escenarios: como banda de utilización en células de reducido tamaño, -con vistas a soportar su despliegue masivo (redes ultra densificadas)-, o también como solución de transmisión para éstas (backhaul), dado que no es realista asumir que todas ellas dispondrán de una conexión por fibra óptica.

La colonización de esta “terra incognita” por el servicio móvil plantea retos técnicos importantes, como pueden ser la adaptación de tecnologías procedentes de bandas inferiores (es el caso de por ejemplo los mencionados haces configurables [2] o el MIMO masivo [3]) o la identificación de los efectos sobre el cuerpo humano y de unos límites seguros para la salud de las personas [4]. Pero, desde el punto de vista de la planificación, es sobre todo el establecimiento de modelos de canales aplicables y validados el que resulta más destacable. Ocurre a este respecto que los modelos de bandas inferiores no son ni aplicables ni extrapolables a estas nuevas bandas [12], y que, dado que es la primera vez que se plantea su uso para el servicio móvil, no existe un trasfondo histórico sólido y asentado, de medidas o estudios al respecto. Por lo tanto, se hace necesario definir unos modelos de canal sobre los que cimentar tanto la planificación de las redes como los criterios técnicos de uso y compartición de dichas bandas. Tales modelos deberán contemplar las características de radiopropagación en estas bandas junto con la incidencia de las estructuras urbanas en los escenarios concretos.

Como consecuencia de todo ello, existe un gran interés en el sector por estas cuestiones, de forma que

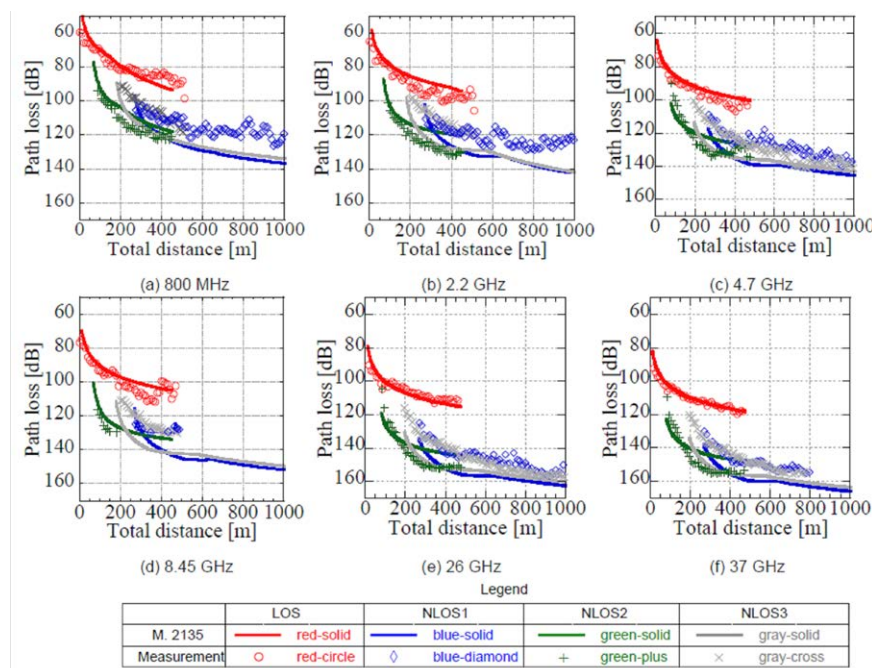


Figura 1. Comparación de medidas con el modelo UIT-R M.2135

actualmente están en curso multitud de actividades sobre ellas por parte de la industria, las universidades y los órganos de estandarización.

Este proceso se supone que tendrá al final una incidencia en la regulación administrativa, al objeto de establecer las condiciones de utilización de estas bandas por el servicio móvil. Como ejemplo, se puede indicar que en Estados Unidos se está considerando una regulación flexible que permita la operación de comunicaciones móviles en 27,5-28,35 GHz (banda 28 GHz) y en 37-38,6 GHz (banda 37 GHz) con asignaciones nacionales que incluirán la utilización sin licencia en exteriores y bandas adicionales para despliegues celulares clásicos en la gama 64-71 GHz, estableciendo unos criterios de protección para los operadores ya existentes en ellas, como es el caso del Servicio Fijo por Satélite (SFS).

Se expondrá, a continuación, una visión general de los trabajos que se están realizando en los Organismos de Estandarización en el campo de los modelos de canal por encima de los 6 GHz.

En el desarrollo de los nuevos modelos que se están proponiendo aparecen nuevos términos y abreviaturas. Se indicarán con su nombre original en inglés, poniendo a continuación, entre paréntesis, una propuesta de su equivalente en castellano.

Actividad en la UIT

En la UIT, como impulsora de las IMT2020 se ha tenido en cuenta, desde el principio, la incidencia de esas comunicaciones móviles futuras sobre el espectro. Y así, en la Recomendación ITU-R M.2083 [5] se identifican tres modalidades básicas de utilización: banda ancha móvil acentuada, comunicaciones ultra-fiables y de baja latencia, y comunicaciones masivas con dispositivos MTC (Machine Type Communications). Se reconoce que serán necesarias grandes anchuras de banda de cientos de MHz a 1 GHz para esos escenarios de uso que se avecinan, por lo que resultará preciso estudiar la posible ocupación de bandas contiguas por encima de 6 GHz.

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2015 (WRC-15) aprobó la Resolución 238 sobre estudios relativos a nuevas frecuencias para las IMT con posibles asignaciones a servicios móviles a título primario y en partes de las gamas de frecuencias entre 24,25 y 86 GHz para el futuro de desarrollo de las IMT 2020. Como consecuencia, se ha propuesto el punto 1.13 del Orden del Día de la próxima Conferencia Mundial a celebrar en 2019 (WRC-19) que se ocupará de esta cuestión.

En la primera sesión de la Reunión preparatoria de la Conferencia (Conference Preparation Meeting, CPM) se

ha decidido que el Grupo de trabajo WP5D del UIT-R sea el que emprenda y complete a tiempo para la WRC-19 los estudios pertinentes para determinar las necesidades de espectro de la componente terrenal de las IMT en la gama de frecuencias 24,25-86 GHz.

Tales estudios deben abarcar necesidades de espectro, características técnicas y operacionales de las IMT 2020, criterios de protección e interferencia y escenarios de despliegue.

Básicamente, esto supone abordar dos problemas. Por un lado, el desarrollo de modelos de canal que sirvan para analizar el desempeño (performance) y sean útiles para la especificación de los parámetros del sistema y su evaluación. Y, por otro, acometer estudios de coexistencia con otros sistemas radioeléctricos, partiendo de los parámetros desarrollados por el UIT-R en el informe ITU-R M.2292 [6]. Por ello, el WP5D deberá cooperar con la Comisión de Estudio 3 (SG-3) responsable de la elaboración de los modelos de propagación para realizar sus estudios de compartición y coexistencia y evaluación del desempeño.

Un problema importante que deberá resolver el WP5D en este contexto es cómo determinar la anchura de banda necesaria para los nuevos servicios y aplicaciones que se vislumbrarán. El procedimiento basado en pronósticos de tráfico, que se aplicó en la WRC-15 ya no es aplicable. Se están analizando, como posibles candidatos, métodos basados en aplicaciones, en estudios de campo, así como en encuestas y en desempeño técnico.

El WP5D asume la propuesta de la CEPT según la cual, las Administraciones, en la preparación de la WRC-19, necesitarán evaluar el espectro necesario para las IMT 2020 en 4 gamas de frecuencias:

- ▶ 24,25-27,5 GHz y 31,8-33,4 GHz
- ▶ 37-40,5 GHz; 40,5-42,5 GHz y 42,5-43,5 GHz
- ▶ 45,5-47 GHz; 47-47,2 GHz; 47,2-50,26 GHz y 50,4-52,6 GHz
- ▶ 66-76 GHz y 81-86 GHz

Deberá estudiarse qué bandas son adecuadas para las diferentes aplicaciones y tecnologías, así como el espectro requerido en cada sub rango.

Se reconoce que los despliegues en estas bandas de frecuencias por encima de 24 GHz para las IMT 2020, presentan diferencias respecto a las IMT actuales tanto en tecnología como en entornos de propagación, por lo que los parámetros que se desarrollaron y establecieron para las IMT en bandas inferiores a 6 GHz no resultarán adecuados para las nuevas bandas.

El informe UIT-R M.2376 [7] contiene un análisis muy completo y riguroso sobre la viabilidad técnica de las IMT en las nuevas bandas por encima de 6 GHz.

Como base de partida para los trabajos, se ha convenido en adoptar el documento de caracterización del canal "5G Channel Model for bands up to 100 GHz" elaborado por varias empresas y universidades [8].

Se ha propuesto un desarrollo según las siguientes fases:

- ▶ Recopilación de datos obtenidos por mediciones y simulaciones y análisis de los mismos para crear un modelo estocástico-geométrico.
- ▶ Estudio de los fenómenos de propagación.
- ▶ Establecimiento del modelo de base.
- ▶ Parametrización inicial del modelo de base.
- ▶ El modelo será tridimensional (3D) y deberá incluir:
 - a. Escenarios de despliegue típicos: urbano macro (UMa), urbano micro (UMi), interiores de alta densidad (indoor-hotspot, InH)[8].
 - b. Descripción y parametrización de la pérdida de trayecto (pathloss), desvanecimientos por sombra y multitrayecto, probabilidad de visión directa (LoS probability), pérdida de penetración y bloqueo.
 - c. Análisis de algoritmos de procesamiento, agrupaciones de dispersores (clusters) y desacoplamiento de antenas.
 - d. Consideraciones sobre la coexistencia espacial-temporal.

Y estos son los requisitos básicos que propone y estudia el WP5D para los nuevos modelos de canal 5G.

1. Preferiblemente, los modelos se basarán en el modelo actual del 3GPP descrito en el Informe TR-36.873 [9] con las necesarias ampliaciones para satisfacer los condicionantes y nuevos escenarios, entre los que se pueden destacar:
 - a. Utilización en las bandas de ondas milimétricas de grandes formaciones de antenas (*antenna arrays*) de dos dimensiones (2D) con polarización dual, tanto en las estaciones de base (BS) como en los equipos de usuario (UE), con la consideración de los ángulos de azimut, elevación, salida y llegada de las componentes de multitrayecto.
 - b. Diagramas de radiación individuales de las antenas elementales y análisis de las posibles ganancias direccionales. El modelo deberá describir también con precisión las propiedades de polarización de las componentes multitrayecto.

3. Los nuevos modelos han de abarcar una gama de frecuencias entre 6 GHz y 100 GHz. Como un único modelo puede no ser aplicable a todos los márgenes de frecuencias en todos los escenarios, deberán poder evaluarse las características de propagación conjunta en diferentes sub-bandas para el caso de funcionamiento multibanda, por ejemplo, agregación de portadoras.
4. Se deberán soportar anchuras de banda amplias de hasta 2 GHz:
 - a. La anchura de banda individual de una portadora puede estar en la gama de 100 MHz a 2GHz.
 - b. Los canales operativos pueden extenderse en un rango de varios GHz.
4. Debe poder sustentarse un amplio conjunto de formaciones de antenas:
 - a. Algunas formaciones muy direccionales con una resolución angular pequeña en torno a 1 grado.
 - b. Diferentes clases de formaciones: lineal, plana, cilíndrica y esférica con polarización arbitraria.
 - c. Puede ser necesario representar los ángulos de salida y llegada con retardos a lo largo de la formación y adoptar la hipótesis de onda esférica en lugar de la habitual de onda plana.
5. El modelo debe acomodar la movilidad, en particular:
 - a. Ha de resultar idóneo para velocidades de hasta 350 km/h.
 - b. Ha de poder adaptarse a situaciones de movilidad en ámbito reducido y a rotaciones de los dos extremos del enlace, para soportar escenarios tales como enlaces dispositivo con dispositivo (D2D) y vehículo con vehículo (V2V).
6. Debe asegurar la coherencia espacial/temporal y de frecuencia, en especial:
 - a. Consistencia espacial de los dispersores, correlación inter-sitios y correlación entre bandas de frecuencias.
 - b. Debe asegurar una transición de los estados del canal tales como LoS/NLoS, escenarios interior/exterior, estadísticas de segundo orden sin discontinuidad en función del tiempo, de la posición de las antenas y de la frecuencia en todos los escenarios de propagación.
7. Debe suponer una complejidad computacional no excesiva, en particular:
 - a. El modelo debe ser adecuado para su implementación en herramientas de simulación de un solo enlace, y multienlaces en una o más células con una complejidad de cálculo y requisitos de memoria y datos no excesivos. Se estima que el modelo actual del 3GPP [9] cumple estas condiciones y proporciona una exactitud suficiente para las aplicaciones a las que está destinado. Puede ampliarse incluyendo prestaciones adicionales para que soporte mayores frecuencias y anchuras de banda con consistencia espacial/temporal/frecuencial.
 - b. La introducción de una nueva metodología de modelado (por ejemplo, los modelos "Map-ba-



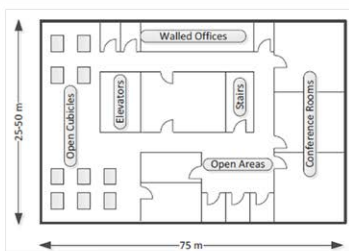
UMa Urban Macro



UMi Urban Micro Street Canyon



UMi Urban Micro Open Square



InH Indoor Office



InH Shopping Malls

Figura 2. Escenarios de despliegue típicos

sed”) puede complicar sustancialmente la complejidad de implementación del simulador.

8. Ampliación de escenarios de cobertura.

Además de los escenarios tradicionales, macrocélulas urbanas UMa, microcélulas urbanas UMi e interiores densos InH, los nuevos modelos deberán tomar en consideración nuevos entornos tales como:

- a. Cañón callejero urbano microcelular y plazas abiertas (Urban Micro (UMi) street canyon and open square) con enlaces exterior-exterior (Outdoor-to-Outdoor, O2O) y exterior-interior (Outdoor-to-Indoor, O2I) con coberturas inferiores a unos 100 m. y antenas situadas bajo los tejados de edificios.
 - b. Entornos de interiores densos (Indoor Hotspot (InH)) oficinas y zonas comerciales (open and closed offices, shopping malls), con antenas en el techo o paredes a 2 o 3 m. de altura y densidades de estaciones base (BS) o puntos de acceso (Access Points, AP) variables de uno por sala a uno por planta en función de la frecuencia y de la potencia.
 - c. Entornos urbanos macrocelulares (UMa) con O2O Y O2I, coberturas de 200-600 m y antenas de BS y AP sobre los tejados.
9. Caracterización de la pérdida de penetración, según el tipo de material constructivo (fachadas, paredes) y en función de la frecuencia.

Actividad en el 3GPP

El 3GPP reconoce la importancia y utilidad de un modelo de canal SCM (Spatial Channel Model [10] y del método de la UIT [11] en el desarrollo y evaluación de las tecnologías de LTE, así como de su evolución, que incluye el paso a 3D, la consideración de formaciones de antenas bidimensionales y una primera inclusión de la tecnología MIMO.

Este modelo solo era válido para frecuencias de hasta 6 GHz por lo que el 3GPP consideró importante desarrollar un nuevo modelo de canal que pudiese validarse en bandas de hasta 100 GHz y permitiera una evaluación previa del desempeño de las futuras tecnologías en las nuevas bandas y en un conjunto amplio y representativo de escenarios de interés.

No se pretende “partir de cero”, sino valorar y aprovechar los estudios y resultados de mediciones, simulaciones y contribuciones como son: METIS2020 [12],

CoST2100/ CoST IC 1004 [13], [14] ETSImm Wave SIG, 5G mm Wave Channel Model Alliance [15], MiWEBA [16], mm MAGIC [17] y NYU WIRELESS.

Entre todo el material aportado, cabe destacar los siguientes aspectos que el 3GPP considera como básicos para el nuevo modelo:

- Gama de frecuencias hasta 86 GHz.
- Gran anchura de banda de las portadoras.
- Ondas esféricas.
- Modelado previo de la polarización.
- Tridimensionalidad.
- Elevada resolución espacial.
- Complejidad computacional moderada.

Se están estudiando varias propuestas de modelos de la propagación: map-based model (modelo de proyección), stochastic model (modelo estocástico), geometry-based stochastic model (modelo estocástico-geométrico).

El 3GPP dispone de un modelo de canal para frecuencias inferiores a 6 GHz contenido en su informe TR 36.873. Se considera conveniente que este modelo sirva de base para el futuro modelo con las ampliaciones y modificaciones necesarias para acoger las nuevas frecuencias, tecnologías (como MIMO masivo) y escenarios de cobertura. Se han iniciado los trabajos para el desarrollo del nuevo modelo partiendo de un documento preparado por fabricantes de equipos y universidades [8] que ofrecen una visión general preliminar de modelos de canal radioeléctrico para frecuencias superiores a 6 GHz basados en mediciones y técnicas de trazado de rayos (ray-tracing) y que incluye pérdidas de trayecto (path-loss), modelado de desvanecimiento lento (sombra) y rápido (multitrayecto), probabilidad de visión directa (LoS probability) análisis de penetración y bloqueo de rayos en escenarios de despliegue típicos.

Actividad en el ETSI

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (European Telecommunication Standards Institute, ETSI) ha establecido un Grupo de especificación industrial ISG (Industry Specification Group ISG) para la transmisión en ondas milimétricas (millimetre Wave Transmission, mWT) con la finalidad de proporcionar una plataforma y oportunidad para las empresas y organizaciones que tienen interés en desarrollar aplicaciones en microondas y ondas milimétricas, a fin de afrontar los problemas asociados a la utilización de esta zona del espectro radioeléctrico.

Los grupos ETSI ATTM TM4, ETSI BRAN Y ETSI ERM han desarrollado estándares armonizados en la gama de ondas milimétricas en una primera fase para radioenlaces fijos como son:

- ▶ EN 302 217 multipart standard for point-to-point links. Aplicable a enlaces fijos hasta 86 GHz.
- ▶ EN 302 326 multipart standard for multipoint links. Aplicable a enlaces multipunto hasta unos 35 GHz.

El mWT ISG pretende seguir realizando estudios elaborando normas para facilitar el uso de las bandas:

- ▶ Banda V (57-66 GHz)
- ▶ Banda E (71-76 y 81-86 GHz)
- ▶ Bandas futuras de mayores frecuencias, hasta 300 GHz para múltiples aplicaciones móviles y fijas incluidos los enlaces frontal (front-hauling), dorsal (back-hauling) y bucle de abonado inalámbrico WLL (wireless local boop).

Asimismo se consideran asuntos prioritarios (High Priority Topics):

- ▶ La regulación de la banda de 60 GHz, ya que un enfoque de utilización muy fragmentada en términos de asignación de espectro, y modelos de concesión de licencias (además de la parte de banda no sujeta a licencia) está impidiendo las aplicaciones de red dorsal en algunos países.
- ▶ Proporcionar confianza en la utilización de las tecnologías de ondas milimétricas, difundiendo y comparando la información obtenida en ensayos y despliegues en la banda E, en lo relativo a dificultades de la propagación y cálculos de disponibilidad.
- ▶ Definición de los requisitos básicos para las aplicaciones de transmisión más importantes: redes dorsales para macro/microcélulas, red frontal, etc.
- ▶ Identificación de las sub-bandas de milimétricas más adecuadas para aplicaciones de transmisión de mayor categoría.

Para más detalles puede consultarse la página web del grupo: www.etsi.org/mWt

Referencias

1. J.M. Hernando et al. "Visiones y tecnologías 5G". Revista BIT, nº 202, Febrero 2016.
2. S. Kuty et al. "Beamforming for Millimeter Wave Communications: An Inclusive Survey". IEEE communications surveys & tutorials, VOL. 18, NO. 2, second quarter 2016.
3. A.L. Swindlehurst et al. "Millimeter-Wave Massive MIMO: The Next Wireless Revolution?" IEEE Communications Magazine. September 2014.
4. T. Wu et al. "Safe for the generations to come". IEEE Microwave magazine. March 2015.
5. Recommendation ITU-R M.2083 "IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT-2020 and beyond". <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083/recommendation.asp?lang=es&parent=R-REC-M.2083-0-201509-1>
6. Report ITU-R M.2292. "Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses". <http://www.itu.int/pub/publications.aspx?lang=en&parent=R-REP-M.2292-2014>
7. Report ITU-R M.2376 "Technical feasibility of IMT in bands above 6 GHz". <http://www.itu.int/pub/publications.aspx?lang=en&parent=R-REP-M.2376-2015>
8. White paper: "5G Channel Model for bands up to 100 GHz". Aalto University et al. 3rd Workshop on Mobile Communications in Higher Frequency Bands (MCHFB). Dec. 2015. [http://www.5gworkshops.com/5G_Channel_Model_for_bands_up_to100_GHz\(2015-12-6\).pdf](http://www.5gworkshops.com/5G_Channel_Model_for_bands_up_to100_GHz(2015-12-6).pdf)
9. 3GPP TR 36.873. "Study on 3D channel model for LTE". Version 12.2.0. July 2015. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.873/36873-c20.zip
10. 3GPP Report TR.25.996 "Spatial Channel Model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations". version 13.0.0. January 2016. http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.996/25996-d00.zip
11. Report ITU-R M.2135 "Guidelines for the evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced". <http://www.itu.int/pub/R-REP-M.2135/publications.aspx?lang=es&parent=R-REP-M.2135-1-2009>
12. METIS project. Deliverable D1.4. "METIS Channel Models". Version 1.0. February 2015. https://www.metis2020.com/wp-content/uploads/deliverables/METIS_D1.4_v1.0.pdf
13. <http://cost2100.org/>
14. <http://www.ic1004.org/>
15. <http://www.nist.gov/ctl/wireless-networks/5gmillimeterwavechannelmodel.cfm>
16. MiWEBA, Deliverable D5. 1 "Channel modeling and characterization". Version 1.0. June, 2014. http://www.miweba.eu/wp-content/uploads/2014/07/MiWEBA_D5.1_v1.011.pdf
17. Mmmagic, Deliverable D2.1 "Measurement Campaigns and Initial Channel Models for Preferred Suitable Frequency Ranges," March, 2016. https://bscw.5g-mmmagic.eu/pub/bscw.cgi/d94832/mmMAG-IC_D2-1.pdf

Use of millimeter bands in 5G. Radio channel models

The editors of the article, members of the COIT Spanish engineering association's Spectrum Group, analyze which new frequency bands will be assigned to 5G to meet the goal of enabling mobile networks to support

greater capacities. They focus on millimeter bands, specifically those between 6 GHz and 100 GHz. This article discusses the major regulatory activity of the International Telecommunication Union (ITU), through the

World Radiocommunication Conferences, the activity carried out by 3GPP, and the actions of the Industry Specification Group (ISG) under the European Telecommunication Standards Institute (ETSI).