

El camino hacia 4G: el desarrollo de las comunicaciones móviles de banda ancha

Por Noah Schmitz

Noah Schmitz trabaja como ingeniero de marketing de aplicaciones inalámbricas en Agilent Technologies.

Ha empezado una carrera que va a ser muy disputada. Es la carrera hacia la siguiente generación de comunicaciones inalámbricas: la cuarta generación de comunicaciones móviles de banda ancha o 4G. El premio para el primero que llegue, o incluso para el que simplemente consiga acabar, puede ser muy sustancioso. El problema es que la línea de meta no para de moverse. La 4G aún no está del todo definida; de hecho, el espectro no se asignará hasta 2007 y los estándares probablemente no estarán acabados hasta un año después. Y, sin embargo, hay muchos equipos en todo el mundo invirtiendo mucho tiempo, esfuerzo, dinero y talento para asegurarse desde hoy mismo su puesto en la parrilla de salida.

En toda carrera hay tres elementos básicos fundamentales: una pista, un coche y un equipo. El esfuerzo internacional por desarrollar sistemas y dispositivos 4G podría considerarse como una carrera. La pista son las condiciones del entorno en el que la carrera va a desarrollarse: los estándares de telecomunicaciones.

El primer tema de este artículo es el desarrollo de estándares para 4G por parte de distintos organismos, desde la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) hasta las organizaciones de normalización nacionales y regionales.

La gente que se está esforzando día tras día por conseguir que su equipo gane la carrera, el "equipo de boxes" de la investigación en 4G, son los ingenieros que trabajan en programas de colaboración sectorial, empresas de alta tecnología y laboratorios de investigación de las universidades.

Por último, todo equipo necesita un vehículo que lo lleve hasta su objetivo final: la línea de meta. En la carrera de la 4G, los coches de carreras son las tecnologías subyacentes que permiten conseguir

unas comunicaciones más integradas, útiles y potentes.

En el último apartado estudiaremos algunas de las principales tecnologías básicas que servirán como combustible en esta carrera y las dificultades de diseño y de prueba a las que se enfrentan los diseñadores de sistemas y dispositivos 4G que van a utilizar dichas tecnologías.

Esta pista tiene demasiadas curvas

Si preguntamos a diez personas qué entienden por 4G, obtendremos diez respuestas distintas. La pregunta más importante es: ¿cómo llegar hasta allí? Si lo que buscamos es una orientación o referencia, no viene mal empezar por arriba. En este caso, por la UIT, un organismo asesor a quien Naciones Unidas ha encargado que proporcione especificaciones relacionadas con aspectos de salud y seguridad para las personas y a las autoridades nacionales responsables de la regulación de la industria de comunicaciones móviles en sus respectivos países.

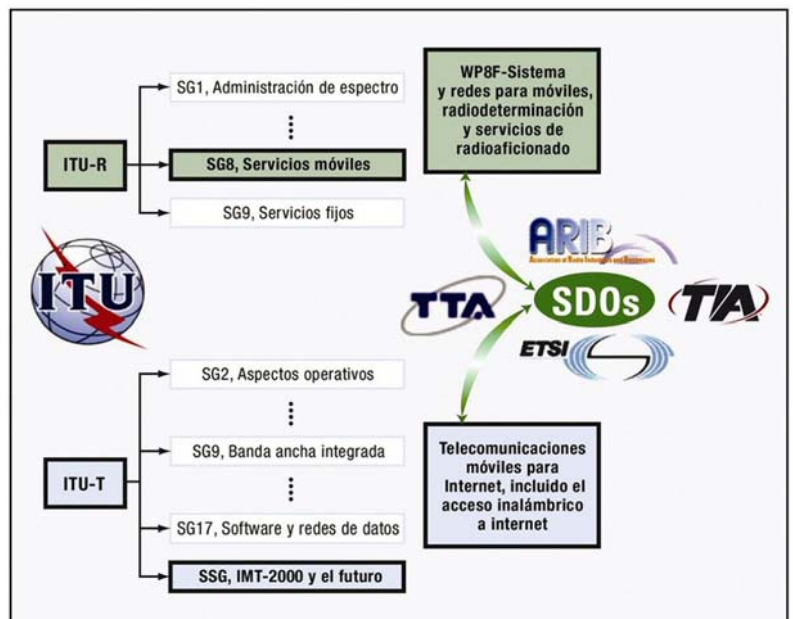
Cómo se establece un estándar:

el proceso de la UIT

La UIT está organizada en tres sectores principales, cada uno de ellos subdividido en grupos de estudio que se encargan de la mayor parte del trabajo técnico. La elaboración de las recomendaciones de la UIT se rige por un proceso formal: el grupo de estudio se ocupa de preguntas técnicas concretas, que corresponden a áreas de la tecnología que merecen una investigación más detallada. Una vez que se ha estudiado suficientemente el tema y se ha tomado una decisión sobre los procedimientos, el grupo emite una recomendación formal, que se remite a todas las entidades externas que trabajan con la UIT, como los organismos de normalización locales o regionales y los gobiernos de cada país. Dentro de la UIT, hay dos grupos concretos que están trabajando en la definición de la siguiente generación de comunicaciones móviles:

- Working Party 8F (WP8F) en la sección UIT-R.
- Special Study Group (SSG) sobre "IMT 2000 y el futuro" (IMT 2000 and Beyond) en la sección UIT-T.

El grupo WP8F se ocupa de as-



Figural. Estructura organizativa de la UIT para el desarrollo de estándares 4G y vínculos con otras entidades

pectos generales del sistema de radio 4G, como, por ejemplo: interfaces radio, redes de acceso radio, cuestiones sobre el espectro, características de tráfico y de servicios y estimaciones de mercado. El grupo SSG "IMT-2000 and Beyond" se dedica principalmente a los aspectos de red o de comunicaciones fijas de los futuros sistemas inalámbricos, como la Internet móvil, la convergencia entre las redes fijas y móviles, la gestión de la movilidad, la interconexión entre redes y la interoperabilidad.

El principal resultado emitido por el grupo WP8F es la Recomendación ITU-R M.1645, que formula los objetivos generales para el desarrollo futuro de las comunicaciones inalámbricas. Como ejemplo ilustrativo del tipo de trabajo que realiza el grupo WP8F, he aquí un breve extracto de las sugerencias contenidas en esta recomendación (extraído de la web www.itu.int/ITU-R/):

- El entorno de los sistemas 4G debería fusionar elementos de los sistemas celulares existentes en la actualidad y de las redes de área personal y sistemas de acceso inalámbrico nómadas, dentro de una arquitectura integrada estructurada en capas de una manera que resulte invisible para el usuario.
- Para el año 2010 deberían poder alcanzarse velocidades de 100 Mops para aplicaciones móviles y 1 Gops para aplicaciones nómadas.
- Debería conseguirse una estandarización abierta y mundial y unificar el espectro en todo el mundo.

La diferencia está en el equipo

Una vez emitida una recomendación, sigue quedando mucho trabajo hasta averiguar cómo implementarla. La implementación corre a cargo de varios grupos, entre los cuales se incluyen organismos de normalización, foros sectoriales y empresas individuales que diseñan redes y dispositivos de siguiente ge-

neración. Igual que un buen equipo de mecánicos de boxes ayuda a mantener el coche de carreras a pleno rendimiento, los ingenieros que trabajan en estas organizaciones facilitan el progreso de la técnica hacia el objetivo final de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha.

Organismos de normalización

Algunos de los principales organismos de normalización son entidades gubernamentales o regionales sin ánimo de lucro, como ETSI en Europa, CCSA en China o TTA en Corea. 3GPP y 3GPP2 son ejemplos de este tipo de organismos de normalización sectoriales que se encargan del desarrollo y mantenimiento de estándares para las tecnologías 2G y 3G actuales. Los organismos de normalización colaboran en el marco de la UIT para conseguir la máxima eficiencia e interoperabilidad. La UIT solicita activamente opiniones y comentarios a otras organizaciones externas, a través de canales de comunicación estructurados. Por ejemplo, dentro de la UIT-T, las recomendaciones A4 y A6 rigen la colaboración entre la UIT, los consorcios sectoriales y los organismos de normalización regionales.

Foros sectoriales

Alcatel, Ericsson, Motorola, Nokia y Siemens fundaron a comienzos de 2001 el foro mundial de investigación sobre comunicaciones móviles, conocido por las siglas WWRF (Wireless World Research Forum) (www.wireless-world-research.org). El objetivo de este foro es formular la filosofía estratégica por la que se orientarán las investigaciones futuras en el campo de las comunicaciones móviles, con un calendario de reflexión de entre 7 y 12 años a partir de ahora. Los principales resultados emitidos por el WWRF son "libros blancos" sobre tecnologías emergentes, como las redes ad-hoc, la banda

ultraancha, las antenas inteligentes y las arquitecturas reconfigurables, y su obra fundamental, *Book of Visions*, es un documento que recoge ideas acerca de las oportunidades y desafíos a los que se enfrentará el mundo de las comunicaciones móviles en el futuro, como, por ejemplo, aspectos operativos como la seguridad o la política de uso del espectro.

En 2003, el WWRF anunció una campaña encaminada a establecer vínculos y debatir objetivos comunes con otros foros sectoriales importantes que están contribuyendo al desarrollo de la tecnología 4G, como el Mobile IT Forum japonés (<http://www.mitf.org>). Dentro del Comité de Comunicaciones Móviles 4G del mITF ya hay dos grupos trabajando: el subcomité de sistemas, que colabora con organizaciones externas con el fin de clarificar el desarrollo de los estándares 4G a nivel tecnológico y el subcomité de aplicaciones, que estudia la filosofía general y los posibles usos, para ayudar a diseñar unas directrices que conduzcan a nuevos mercados empresariales lucrativos. Los objetivos y recomendaciones, como por ejemplo las funciones y servicios que se espera recibir de los móviles 4G, se recogen en un documento titulado "Flying Carpet" (la alfombra voladora), del cual puede encontrarse una segunda versión actualizada en la web del mITF mencionada anteriormente.

Proyectos de investigación

Hay muchos proyectos especiales en los que intervienen empresas de alta tecnología en colaboración con el mundo académico, cuyo objetivo es resolver algunas de las dificultades a las que se enfrentan los diseñadores de redes, dispositivos y servicios 4G. El proyecto 4G Radio, por ejemplo, es fruto de la colaboración entre Agilent Technologies, ST Microelectronics, Infineon Tech. y otras entidades de la industria y del mundo académico (www.4G-

radio.de). Con el respaldo de Medea+ e IWT, este proyecto pretende acortar el plazo de desarrollo de los más avanzados chipsets y/o sistemas integrados en un solo chip (SoC, Systems On a Chip) creando bibliotecas de circuitos estandarizadas y bloques constructivos digitales reconfigurables. Estas herramientas de diseño podrán utilizarse junto con otros módulos de diseño propio de cada fabricante para implementar la capa física de las nuevas tecnologías con técnicas innovadoras de modulación.

Por lo que respecta a los servicios, los proyectos IST-MoDiS (www.ist-modis.org/) e IST-MAESTRO (www.ist-maestro.dynohs.org/) investigan la viabilidad de la combinación de contenido multimedia difundido vía satélite (S-DMB) con arquitecturas celulares terrestres 3G, para alentar la convergencia entre las distintas modalidades de acceso inalámbrico y de distribución de con-

tenido.

Mejor tecnología equivale a mayor potencia de proceso

La pista nos indica a dónde tenemos que ir y el piloto y su equipo se encargan de que podamos utilizar las herramientas a nuestra disposición para llegar hasta allí. ¿Cuáles son entonces las herramientas que nos permitirán llegar a la 4G, es decir, a las tecnologías que harán posibles las comunicaciones móviles de banda ancha? Puesto que el espectro electromagnético es un recurso limitado, gran parte de la investigación que se está realizando actualmente tiene como objetivo encontrar métodos que permitan utilizarla de una manera más eficaz. Tres de los principales motivos para migrar hacia la siguiente generación de comunicaciones móviles son una mayor capacidad (el número de abonados móviles no deja de crecer), mayores

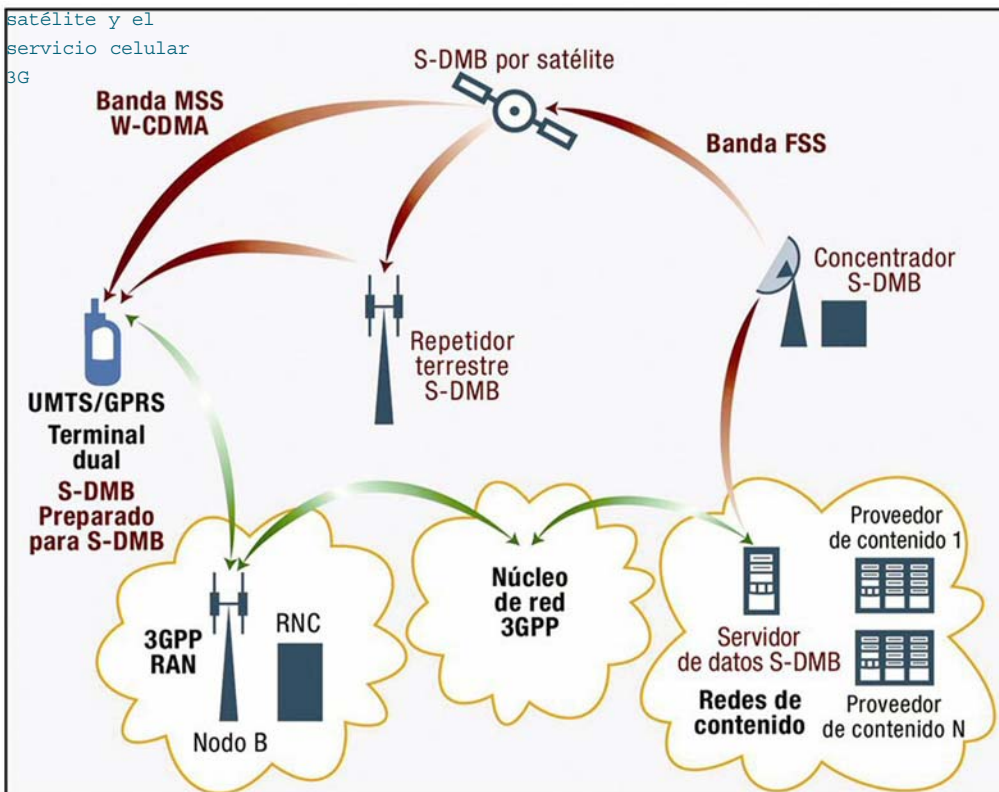
velocidades de transmisión de datos (para poder ofrecer servicios que generen más ingresos por usuario) e interoperabilidad sin discontinuidades (para aumentar la aceptación por parte de los usuarios y la facilidad de uso).

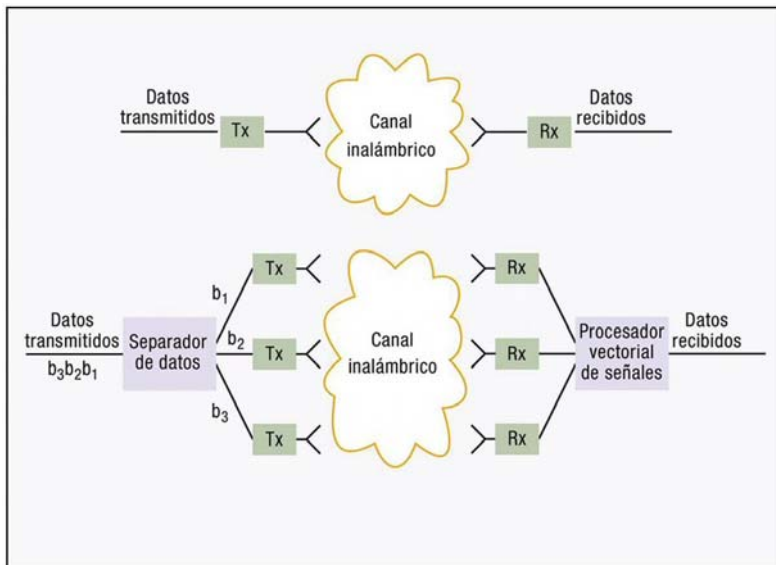
MIMO

El principal motivo para adoptar un sistema de múltiples entradas y salidas (MIMO, Multiple Input Multiple Output) es aumentar la capacidad. Un sistema inalámbrico con antenas simples obedece al límite de capacidad clásico previsto por el teorema de Shannon, que puede expresarse como $C = \log_2(1+SNR)$. Eso significa que la capacidad ideal aumenta con el logaritmo de la relación señal/ruido. En los sistemas MIMO, por el contrario, la capacidad aumenta linealmente con el número de parejas de transmisión y recepción que se utilicen. Hay dos maneras de implementar un sistema MIMO. Una de ellas consiste en utilizar diversidad en los lados de transmisión y de recepción para obtener una mayor robustez y ampliar el alcance. La otra es transmitir varios caudales de datos diferentes a través de canales espaciales paralelos. La mayoría de los sistemas utilizarán probablemente una combinación de ambos métodos.

MIMO es sólo una implementación de la tecnología de antenas inteligentes. Por lo general, los sistemas de antena inteligente combinan varios elementos de antena con potentes e inteligentes mecanismos de procesamiento de señales, cuyo objetivo es optimizar los patrones de radiación y recepción. Estas son algunas de las áreas de investigación en el campo de las antenas inteligentes: procesamiento espacial, matrices en fase (phased arrays), matrices adaptativas (adaptive arrays) y conformado digital del haz de radiación. Un importante compromiso que hay que tener en cuenta en cualquier sis-

Figura 2. Arquitectura IST-MoDiS, que muestrea la convergencia entre el servicio de difusión vía





tema de antena inteligente es que el aumento de cobertura y de calidad de servicio (QoS) tiene como contrapartida un mayor coste de los terminales y de la infraestructura. Del tema de las antenas adaptativas se ha ocupado el grupo WP8F de la UIT en la pregunta ITU-R 224-1/8.

OFDM

El multiplexado por división en frecuencia ortogonal (OFDM) es uno de los principales candidatos para las interfaces aéreas 4G, debido a su resistencia natural al desvanecimiento multirrayecto y a su capacidad para soportar velocidades de transmisión de datos extremadamente elevadas. La idea básica subyacente a la técnica OFDM es que, si tomamos una señal y la enviamos a través de varias portadoras de menor velocidad, en lugar de una sola de alta velocidad, la mayor duración de cada símbolo atenúa o elimina los problemas de interferencia entre símbolos. De este modo, la ventaja que supone una mayor velocidad de transmisión de datos se consigue cuando esas portadoras múltiples se modulan con mapeos de símbolos de orden superior, como 8PSK o 16QAM, que empaquetan un mayor número

de bits a través del aire en cada período de símbolo.

Varios fabricantes importantes de equipos de comunicaciones móviles están invirtiendo en investigación avanzada en tecnología OFDM.

En una reciente nota de prensa, Motorola Labs ha anunciado el éxito de unas pruebas de campo de un terminal móvil mixto MIMO-OFDM capaz de mantener velocidades de transmisión de datos de 20 Mops con baja latencia en movimiento a la velocidad de un vehículo. Las simulaciones de laboratorio sugieren una velocidad máxima sin codificación de 300 Mops (www.motorola.com). OFDM es también el formato ideal para tecnologías emergentes como Ultra Wideband (UWB) y el WiMAX del IEEE. Hay muchas variantes de OFDM optimizadas para aplicaciones y condiciones de canal concretas, como Coded OFDM, Wideband OFDM, Flash OFDM o Vector OFDM.

El OFDM Forum (www.ofdm-forum.com), constituye un consorcio de empresas de comunicaciones móviles e investigadores universitarios, que se estableció para promover activamente entre los círculos de decisión de los organismos de normalización nacionales, la adopción

de un único estándar universal para OFDM.

SDR

La filosofía de 4G consiste en ofrecer un entorno de comunicaciones sin discontinuidades, en el cual la interoperabilidad entre los distintos sistemas y agencias es fundamental. Las redes móviles más antiguas dan peor resultado cuando lo que se necesita es mover información de voz, datos y vídeo a través del mismo sistema. Esta falta de flexibilidad hace surgir la necesidad de equipos de radio definidos por software, en los cuales muchas funciones de comunicaciones que antes se realizaban exclusivamente por hardware pueden implementarse ahora por software. Los equipos de radio pueden reprogramarse descargando especificaciones a través del aire, para transmitir y recibir señales a través de una amplia gama de frecuencias y para emular prácticamente cualquier formato de transmisión o modulación que se desee. Ello permitirá que un mismo dispositivo no sólo pueda funcionar perfectamente sobre distintos tipos de redes y sistemas de acceso, sino además realizar varias funciones diferentes al mismo tiempo y actualizarse con otras nuevas a medida que se desarrollen.

El área de los equipos de radio definidos por software es objeto de investigación activa por parte del grupo WP8F de la UIT en la pregunta ITU-R 230-1/8. Existe también un foro internacional sin ánimo de lucro creado para acelerar el desarrollo y despliegue de la tecnología SDR, cuyo nombre es, como cabía esperar, SDR Forum (www.sdrforum.org).

Estrategias de migración

La línea de actuación más probable para los operadores móviles ya consolidados y los principales fabricantes de dispositivos móviles consistirá en mejorar los sistemas 2G y 3G existentes con métodos de distri-

Figura 3. Aumento de capacidad con antenas MIMO (abajo) en comparación con las antenas simples (arriba)

Figura 4. Medida de calidad de señal en una transmisión WiMAX con un canal de 5 MHz de anchura a 2,7 GHz utilizando OFDM de 200 portadoras. El software de análisis de señales de Agilent muestra datos como los formatos de modulación

bución cada vez más avanzados. Tecnologías 3.5G como 1xEV-DO para cdma2000 y HSDPA para W-CDMA, permitirán multiplicar de un golpe entre 3 y 5 veces la cantidad de bits por segundo y MHz. NTT DoCoMo en Japón ya ha anunciado sus planes de desarrollo de la tecnología "3.9G". En la feria Wireless Japan celebrada en julio de este año, un alto ejecutivo de I+D explicó que 3.9G servirá de puente entre HSDPA a 10 Mbps y 4G a 100 Mbps (www.itmedia.co.jp). Esta tecnología "Super 3G", cuyo despliegue está previsto para antes de 2010, utilizará el mismo espectro que W-CDMA, pero empleará una arquitectura de red basada íntegramente en IP y modulación basada en multiplexado ortogonal por división de código y frecuencia (OFCDM, Frequency Code Division Multiplexing) para alcanzar velocidades de transmisión de datos de 30 Mbps. Para entonces tendrá

lugar la transición hacia 4G, aumentando el ancho de banda hasta 100 MHz y utilizando modulación OFDM con factor de dispersión variable.

Está prevista también otra estrategia de migración completamente distinta para los proveedores actuales de sistemas de acceso inalámbrico fijo o nómada. El IEEE, un organismo de normalización sectorial con sede en Estados Unidos, ha sido pionero en el desarrollo de estándares inalámbricos optimizados para un ámbito de aplicación concreto: 802.15 para redes de área personal inalámbricas (WPAN), 802.11 para redes locales inalámbricas (WLAN) y 802.16 para redes metropolitanas inalámbricas (WMAN). Algunas implementaciones de estas tecnologías alcanzan el objetivo 4G de una altísima velocidad de transmisión:

- 802.15.3a (Ultra Wideband) con velocidades de 480 Mbps en corto alcance

- 802.11n (MIMO WLAN) a velocidades de 100 Mbps en alcance medio.
- 802.16-2004 (WiMAX) con velocidades de 75 Mbps en largo alcance

Un obstáculo importante que sigue impidiendo hacer realidad la filosofía 4G es la incorporación de la movilidad a estos sistemas.

Datos a través de móviles

Ya se vislumbran dos tecnologías prometedoras que podrían resolver directamente el problema de la movilidad, aunque no las velocidades de transmisión elevadas.

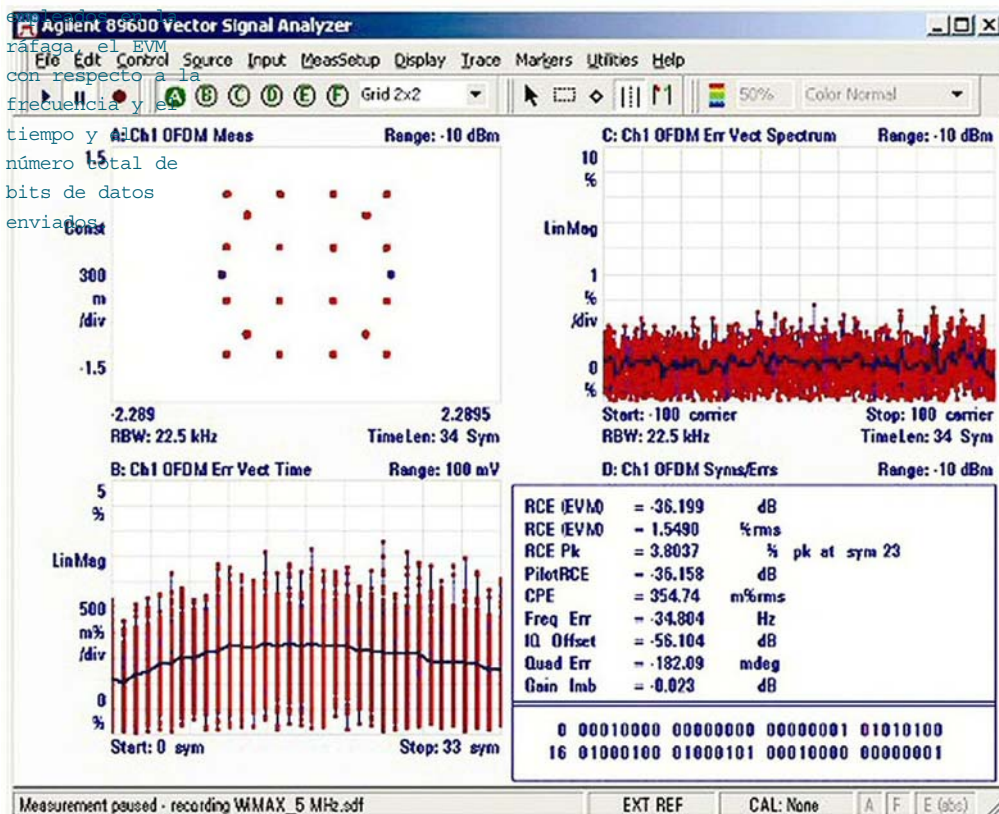
La primera que veremos probablemente en la práctica es 802.16e, una mejora del estándar WiMAX. Samsung Electronics está desarrollando actualmente una tecnología propia muy similar a 802.16e denominada WiBro (Wireless Broadband), en combinación con el operador SK Telecom y la organización de I+D ETRI, de financiación gubernamental.

Aún más lejos en el horizonte está 802.20, que soportará velocidades similares a las de DSL y movilidad a velocidades de tren. Estos estándares aún no están tan definidos como 802.16e, pero ya cuentan con cierto respaldo dentro del sector por parte de Flarion Technologies y T-Mobile.

La arquitectura del sistema seguirá probablemente una estructura por capas, con una capa de control lógico del enlace (LLC, Logical Link Control) dentro de la cual las capas física y de control de acceso al medio de transmisión (MAC, medium access control) ofrecerán los servicios a una capa 3 basada en IP o una capa de conmutación, como PPP o MPLS.

Dificultades de diseño y de pruebas

Las tecnologías provisionales que permitirán añadir movilidad a las



redes de banda ancha, u ofrecer banda ancha a través de redes celulares, aún no han alcanzado los objetivos de movilidad o velocidad de transmisión exigidos a un auténtico sistema 4G tal y como lo ha definido la UIT. Sin embargo, la investigación continuada en estos campos sigue aportando muchos beneficios tangibles que preparan el camino hacia 4G: por ejemplo, garantizan una migración gradual desde 3G y ayudan a definir los requisitos de los dispositivos y las redes de datos de siguiente generación. Entre estos requisitos, algunos de los cuales hemos venido apuntando a lo largo de este artículo, se incluye la posibilidad de soportar varias interfaces aéreas, varias interfaces de usuario, así como la capacidad de reconfiguración.

¿Qué significa eso para los diseñadores de dispositivos que ya están realizando los primeros trabajos de I+D? Una conclusión es que la tendencia hacia la integración de la interfaz analógica no tiene visos de ralentizarse. Una gran parte del terminal de siguiente generación definido por software vendrá empaquetada en un único sistema complejo integrado en un solo chip (SoC) o en un mismo paquete (SiP), que combinará amplificadores de potencia con filtros, antenas y otros componentes que tienen comportamientos distintos en los diferentes entornos. Se utilizarán técnicas de procesamiento digital de señales para compensar las limitaciones analógicas de esos bloques de esta primera etapa de entrada. Para probar un sistema tan complejo, harán falta herramientas de medida y prueba capaces de ofrecer lo mejor de los mundos de la simulación y la emulación de RF, el modelado de sistemas digitales y la verificación de hardware.

Puesto que los estándares 4G aún no están definidos con claridad, encontrar las herramientas de prueba adecuadas puede resultar difícil.

Al fin y al cabo, es imposible saber cuál de las innumerables tecnologías emergentes que ya están circulando crecerá lo suficiente para adquirir viabilidad comercial. La clave consiste en invertir en una plataforma de prueba flexible y escalable que pueda cubrir hoy una amplia variedad de formatos, sea capaz de resolver las necesidades de ancho de banda y rango de frecuencias y pueda resolver las necesidades rápidamente a medida que surjan nuevas posibilidades.

Por lo que respecta al diseño de sistemas, hay que buscar una solución de diseño electrónico automatizado (EDA) que pueda emular toda la cadena transceptora, desde el DSP a la RF y sea lo bastante flexible para conseguir precisión a nivel de transistor y una buena simulación del modelo de comportamiento. También sería útil contar con bibliotecas de diseño estándar para tecnologías actuales como UWB o W-CDMA, para facilitar la convergencia y la verificación de la integridad.

Para verificar el rendimiento de los diseños hardware de los receptores en condiciones de estrés, hay que disponer de un generador de señales de alta frecuencia que combine un gran ancho de banda, para manejar formas de onda complejas, con una elevada resolución para conseguir un amplio rango dinámico y con la capacidad de descargar señales propietarias de paquetes de software como MATLAB o ADS de Agilent.

Para el diseño de transmisores avanzados, sobre todo si se están implementando antenas inteligentes, se necesita un analizador de señales con varios canales coherentes calibrados tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia. Los analizadores basados en un motor de software, como el VSA de Agilent con el que se realizó la medida de la figura 4, son los más flexibles, porque la adquisición de datos es independiente de la etapa de en-

trada de hardware. Si se necesita un mayor rango dinámico, deberá utilizarse un analizador de espectro de alto rendimiento; si lo que se necesita es más ancho de banda, puede usarse un osciloscopio.

Los ingenieros e investigadores que conciben y desarrollan los dispositivos móviles de banda ancha de siguiente generación necesitan herramientas innovadoras que les permitan verificar los modelos propietarios tanto de forma virtual como sobre un banco de pruebas de hardware real, con una correlación repetible entre ambos entornos.

Piense en incluir en su "equipo de boxes" a su proveedor favorito de equipos de prueba; son ellos los más indicados para ayudarle a llegar más rápido a la línea de meta, pues siguen de cerca el desarrollo de los estándares y pueden contribuir al éxito de los nuevos productos ofreciendo herramientas precisas y una experiencia muy útil en el campo de la medida. El final de la carrera hacia 4G aún está muy lejos, pero familiarizándose con la manera en que va a desarrollarse aumentará considerablemente sus oportunidades de victoria.

Sobre el autor

Noah Schmitz es graduado *summa cum laude* por la Universidad de Oklahoma y licenciado en Física e Ingeniería Eléctrica. Se incorporó a Agilent Technologies en 1999 como ingeniero de marketing de producto en el Grupo de Prueba de Componentes, donde dirigió el lanzamiento de diversos accesorios para pruebas de microondas.

En la actualidad trabaja como ingeniero de marketing de aplicaciones inalámbricas e imparte cursos internos y a clientes en todo el mundo sobre los aspectos más recientes de la tecnología y las medidas de comunicaciones. Su trabajo ha sido publicado en Internet y en diversas publicaciones técnicas de prestigio internacional, como EE Times, Base Station/Earth Station, Test and Measurement Korea y EDN China. □