

Nuevos desafíos a la hora de efectuar pruebas en receptores LTE y MIMO

Por Moray Rumney, Agilent Technologies Inc.



Los sistemas para móviles pertenecientes a generaciones anteriores han venido utilizando técnicas de antenas múltiples como por ejemplo diversidad de transmisión y recepción, así como direccionamiento de canales para adaptarse a los presupuestos de conexión. En cada uno de estos casos, se envía un único flujo de datos entre la estación base y el equipo de usuario (UE). La octava publicación de las especificaciones 3GPP, la cual define la evolución a largo plazo (LTE) hacia los sistemas de 4ª generación, incluye nuevos requisitos para la multiplexión espacial, conocida también como múltiples entradas y salidas (MIMO), donde la estación base y el UE se comunican utilizando dos o más flujos espaciales. El objetivo consiste en aumentar la capacidad general de una célula, así como la velocidad de transmisión de datos esperada del sistema por un solo usuario.

Como resultado de la creciente flexibilidad y velocidad de transmisión de datos, las actividades de diseño y prueba de sistemas LTE varían en gran medida de las tecnologías para móviles de generaciones anteriores. En particular, las operaciones de diseño y prueba de los receptores LTE presentan nuevos desafíos que requieren la adaptación de equipos y métodos de medida.

Requisitos para receptores LTE

Las especificaciones 3GPP definen los requisitos en materia de LTE que afectan al diseño del receptor. Por ejemplo, la LTE debe ser compatible con los siguientes cambios:

- Seis anchos de banda de canal diferentes, de 1,4 a 20 MHz
- Modos de duplexión por división de frecuencia (FDD) y por división en el tiempo (TDD)
- Uso del estándar multi-gigabit DL-GRAF v4 para conectar subsistemas. Esto requiere capacidad de medida entre dominios (entrada digital, salida de RF). Una fuente de prueba digital debe poder emular tanto el tráfico de datos como la pila de protocolos encapsulados dentro de la interfaz digital que controla la función RFIC (circuitos integrados de radiofrecuencia).

Además, la LTE puede utilizar diversidad de transmisión (MISO) y recepción (SIMO), así como direccionamiento de canales, ya sea por sí solo o conjuntamente con MIMO. La LTE define siete modos distintos de

transmisión por enlace descendente, cada uno adecuado para diferentes condiciones de canal y ruido:

1. Puerto de antena única; puerto 0: SISO
2. Diversidad de transmisión: MISO
3. Multiplexión espacial en bucle abierto: MIMO - sin precodificación
4. Multiplexión espacial en bucle cerrado: MIMO - con precodificación
5. MIMO multiusuario: MIMO - UE individuales
6. Categoría bucle cerrado = 1 precodificación: MISO - direccionamiento canales
7. Puerto de antena única; puerto 5: MISO - direccionamiento de canales

Los términos palabra codificada, capa, precodificación y modelado de canales han sido específicamente adoptados para que la LTE pueda hacer referencia a las señales y a su procesamiento. Los términos se utilizan de las maneras siguientes:

- Palabra codificada: una palabra codificada representa datos de usuario antes de que sean formateados para su transmisión. En el caso más común de MIMO de usuario único (SU-MIMO), se envían dos palabras codificadas a un solo teléfono móvil o UE.
- Capa (o flujo): en el caso de MIMO, deben utilizarse al menos dos capas. Se permiten hasta cuatro. El número de capas es siempre menor o equivalente al número de antenas.
- Precodificación: la precodificación modifica las señales de la capa antes de efectuarse la transmisión. Esto puede implementarse tanto para diversidad, direccionamiento de canales o multiplexión espacial. Las condiciones de canal de MIMO

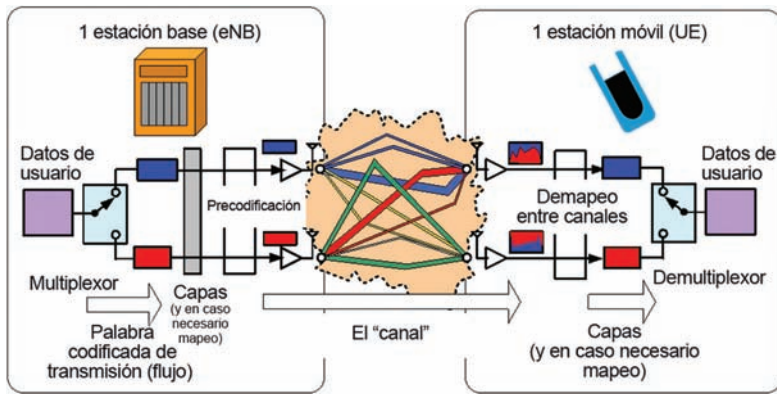
pueden favorecer una capa (secuencia de datos) más que otra. Si la multiplexión espacial es de bucle cerrado, el UE proporciona un indicador de matriz de precodificación (PMI), de modo que la estación base (eNB) puede interconectar los flujos para compensar el desequilibrio en el canal.

- El modelado de canales Eigen (conocido a menudo como "modelado de canales" sin más) modifica las señales de transmisión para generar la mejor relación portadora a interferencia y ruido (CINR) en la salida del canal.

La figura 1 muestra cómo se utilizan dos palabras codificadas para un solo usuario en el enlace descendente. También es posible que se asignen palabras codificadas a diferentes usuarios para crear MIMO multiusuarios (MU-MIMO).

Pruebas básicas para receptores LTE

Las pruebas de conformidad de LTE para receptores 3GPP requieren medir el rendimiento (incluido medir el rendimiento MIMO) en la totalidad del receptor. Sin embargo, antes de que pueda medirse el rendimiento, deben verificarse en primer lugar los bloques secundarios básicos del receptor así como cuantificarse y reducirse los niveles específicos de distorsión de la fuente. Estas medidas básicas se efectúan antes durante la fase de diseño del receptor. De utilizarse receptores múltiples en un sistema, será necesario efectuar medidas básicas por separado en cada una de las cadenas receptoras antes de intentar verificar el rendimiento MIMO.



las bandas y anchos de banda compatibles; en particular, en los flancos de las bandas donde el filtro duplexor atenúa el flanco de la señal.

Figura 1. Transmisión SU-MIMO 2x2.

Medición de la salida digital

Tradicionalmente, la señal de una sección de RF del receptor podía demodularse en componentes de I y Q utilizando técnicas analógicas. Hoy en día, sin embargo, la señal de IF con-

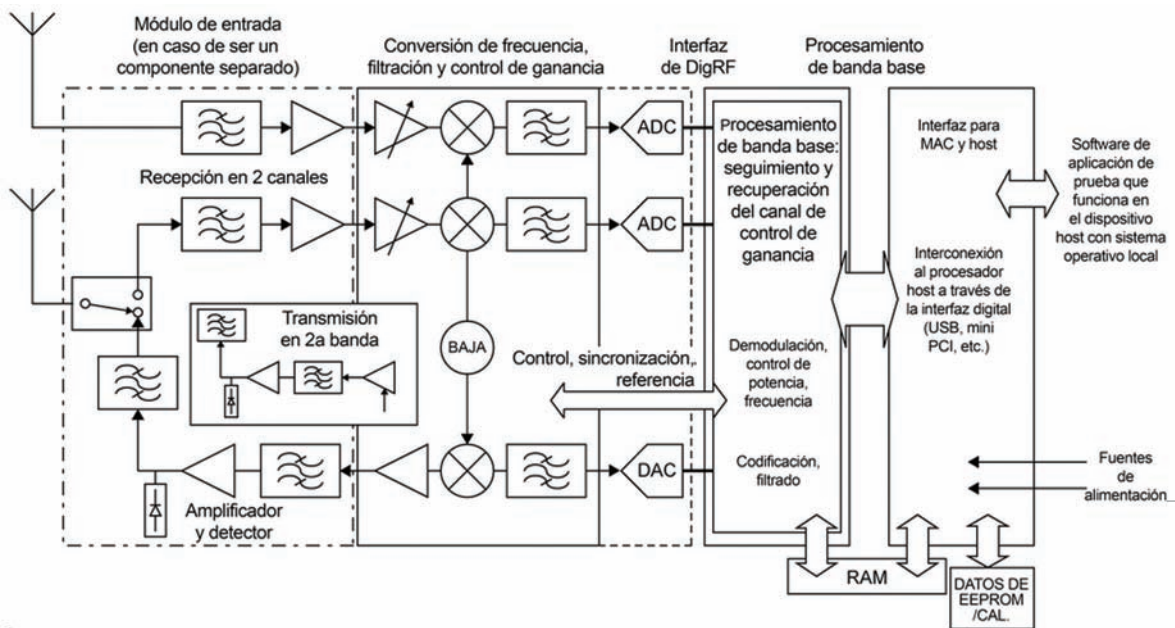


Figura 2. Transceptor LTE simplificado.

La figura 2 muestra un diagrama de bloques simplificado de un típico transceptor LTE.

Los receptores modernos utilizan los mismos bloques estructurales que los diseños clásicos; sin embargo, en la actualidad hay un mayor grado de integración, ya que son componentes individuales quienes realizan funciones múltiples. La prueba de estos componentes puede resultar más difícil; particularmente en lo que respecta a los teléfonos móviles, ya que el espacio disponible es todo un lujo y probablemente habrá pocos lugares donde pueden inyectarse las señales u observarse para la prueba.

La prueba en bucle abierto (en la que el receptor sometido a prueba no envía información de respuesta a la fuente) resulta suficiente para probar las características fundamentales de los componentes individuales incorporados en el receptor. La prueba en bucle abierto es también un primer paso para validar los algoritmos de

demodulación en la sección de banda base. No obstante, la verificación completa del rendimiento total del receptor en condiciones reales requiere la realización de una prueba en bucle cerrado a través de un canal atenuado.

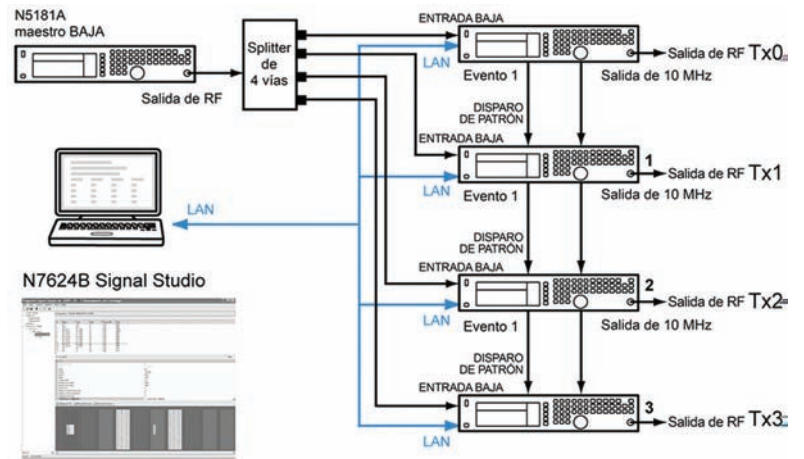
Un aspecto único que caracteriza a la LTE es que el UE debe ser compatible con los seis anchos de banda de canal de 1,4 a 20 MHz, incluso si el despliegue real del sistema en cualquier área geográfica está limitado a menos anchos de banda. La estructura de la señal de LTE incluye señales de referencia (RS) repartidas tanto en función de la frecuencia como del tiempo sobre la totalidad de la señal de LTE. Los receptores del UE y de la eNB pueden utilizar estas señales junto con técnicas de procesamiento de señales digitales (DSP) para compensar errores de linealidad de la amplitud y de la fase en el transmisor, canal de radio y receptor. La planicidad de la señal debe probarse en cada una de

vertida en bajada suele digitalizarse mediante un ADC (convertidor de analógico a digital) para ser alimentada después a la sección de la banda base y proceder a su demodulación y descodificación. La medición de la salida del ADC supone todo un desafío, ya que la señal de salida forma parte ahora del dominio digital.

Una solución consiste en analizar directamente los bits digitales desde el ADC. La solución más reciente para llevar a cabo operaciones de prueba y caracterización de señales DigRF es la plataforma RDX de Agilent, la cual proporciona un entorno de prueba único que facilita la validación de los protocolos de DigRF v4 en condiciones reales. Utilizando software de emulación potente y tarjetas de prueba de hardware específicas para protocolos, podrá explorar rápidamente una amplia gama de escenarios de prueba. El software de análisis y generación de protocolos que se incluye interactúa con los softwares

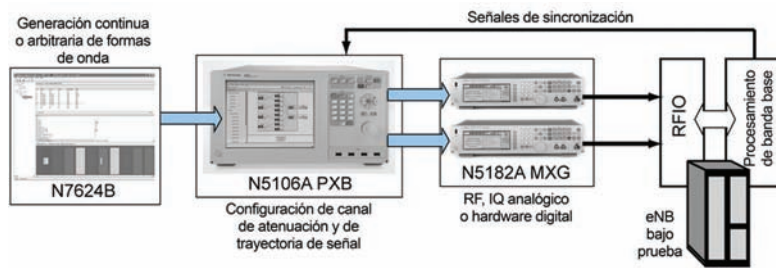
Figura 5. Sistema de generación de señales para prueba de receptores MIMO.

líderes del mercado para estudio de señales "Signal Studio" y de análisis vectorial de señales (VSA) 89600 de Agilent para permitir el análisis y estímulo del dominio físico de RF a través de un chip de RF-IC. El software le permite analizar el rendimiento del ADC efectuando directamente medidas convencionales de RF en los datos digitales, al tiempo que proporciona medidas digitales de rendimiento de magnitud del vector de error (EVM) para propósitos de verificación, además de información gráfica detallada que puede utilizarse durante el desarrollo de productos para así aislar la fuente de perturbaciones en la señal.



Desafíos a la hora de efectuar pruebas en receptores de tipo MIMO

Figura 3. Sistema de prueba para receptores que incluye atenuación.



potencia ligeramente disímiles y una sincronización distinta. Estas características pueden recrearse utilizando el comprobador de receptores MIMO (PXB) N5106A de Agilent

por el comprobador de receptores MIMO muestran las señales demoduladas de una trama única de señal LTE. El canal se atenua en planicidad (sin selectividad de frecuencia). Las dos constelaciones que aparecen en la parte superior de la figura muestran las dos capas de la señal MIMO. Está claro que la constelación de la izquierda es más ajustada, lo cual resultaría en una menor tasa de error de bit (BER) en un receptor auténtico.

Durante el funcionamiento en MIMO en bucle abierto, el UE envía datos de indicador de calidad del canal (CQI) a la eNB. La capa con el CQI más alto sostiene una modulación de orden superior o bien menor codificación de canal. Durante el funcionamiento en MIMO en bucle cerrado, el UE envía además datos de PMI que permite a la eNB interconectar los flujos para así igualar el rendimiento de las dos capas, según puede observarse en las representaciones gráficas inferiores.

En modo LTE, el método de índices de codificación se utiliza para facilitar la precodificación de canales, utilizándose una pequeña cantidad de códigos para reducir al mínimo la sobrecarga del sistema en materia de señalización. Esto significa que el índice proporciona una aproximación al canal; implicando un cierto grado de error residual. Para comprobar el rendimiento de precodificación de un receptor se requiere la utilización de señales con una relación de fase fija para así garantizar unas condiciones de prueba repetibles. A modo de ejemplo, la figura 5 muestra una configuración de sistema de prueba.

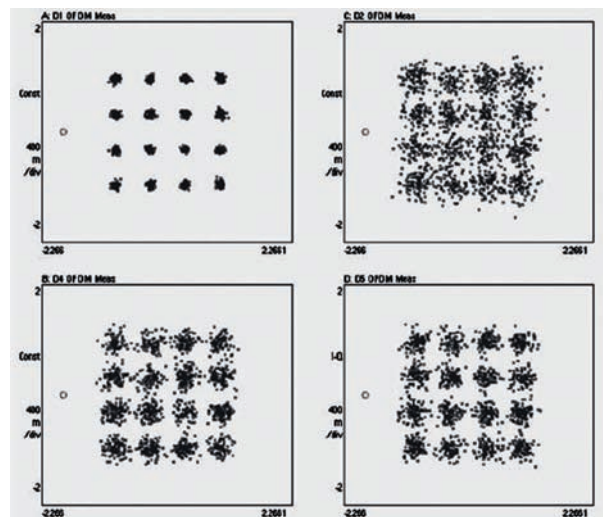


Figura 4. Señales desmoduladas de LTE procedentes de un analizador vectorial de señales.

El receptor de la estación base se enfrenta a numerosos desafíos de MIMO iguales a los encontrados por el receptor de UE, sólo que, además, tienen que recibir simultáneamente datos procedentes de múltiples usuarios. Desde una perspectiva de MU-MIMO, cada señal procede de un UE individual, por lo tanto, cada señal posee un canal totalmente independiente, así como niveles de

simultáneamente con generadores de señal de RF.

Durante su funcionamiento normal, el receptor deberá manipular un canal complejo y continuamente variable. No obstante, si se utiliza un canal atenuado para emular estas condiciones, las pruebas no serán repetibles. Un canal atenuado fabricado a partir de una fase simple y con diferencias de sincronización entre las distintas trayectorias proporciona una señal determinista que pueda diseñarse específicamente para poder verificar los límites de rendimiento del receptor. La adición de ruido a dicho canal puede crear fácilmente una señal de prueba en la que algunas subportadoras son más difíciles de demodular que otras.

Cuando se requiere la utilización de un canal atenuado, una configuración como la mostrada en la figura 3 proporciona trayectorias atenuadas múltiples, independientes y continuas con salidas analógicas o digitales.

Las representaciones gráficas mostradas en la figura 4 y generadas

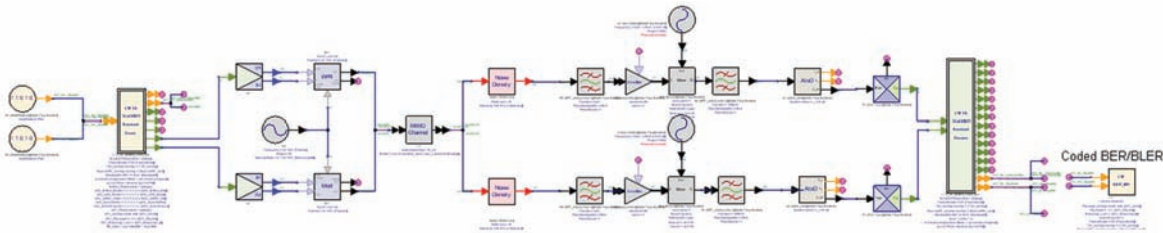


Figura 6. La simulación de sistemas acelera el proceso de diseño.

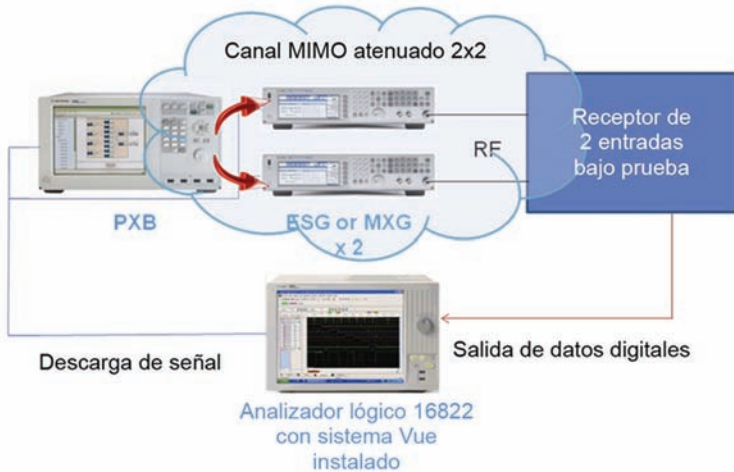


Figura 7. Combinación de simulación y pruebas para efectuar medidas de BER en bucle cerrado.

Combinación de simulación y medida para solucionar anomalías durante las pruebas de hardware

Las técnicas actuales de diseño confían en la simulación de sistemas para evitar costosas iteraciones de hardware y para acelerar el proceso general de diseño. Resulta útil poder aplicar directamente los resultados a la prueba de hardware. Agilent ofrece herramientas de diseño que en etapas posteriores del proceso de diseño pueden interconectarse con los instrumentos de prueba para obtener un entorno combinado de hardware y simulación, de modo que los ingenieros puedan realizar pruebas funcionales en componentes y subsistemas terminados dentro de un contexto de sistema. La figura 6 muestra un transmisor y receptor completos con un canal de MIMO atenuado utilizando Agilent SystemVue.

La combinación de simulación y prueba ofrece un número importante de ventajas. La simulación es una manera efectiva y flexible de modelar los elementos de diseño de banda base y de RF, así como las perturbaciones de trayectoria de RF y la creación de canales de MIMO precodificados.

Mientras que el diseño se transforma en bloques físicos de funciona-

miento, la combinación de simulación con instrumentación de prueba permite estimular y analizar los bloques en un entorno "real". La figura 7 muestra un ejemplo de fuente con transmisor doble tipo MIMO utilizada para efectuar medidas codificadas de BER en una combinación completa de receptor doble y banda base MIMO. La carga útil del transmisor está compuesta por datos de IQ tanto digitales como analógicos, pudiéndose efectuar un análisis de error en tiempo real comparando la salida de datos del receptor con los datos enviados. Sometiendo los receptores a pruebas de esfuerzo aplicándoles una precodificación de canal y atenuación conocida mientras que se mide la BER en tiempo real se puede obtener la certeza de que el diseño funcionará correctamente en condiciones reales.

Por último, el receptor MIMO LTE necesitará pasar las pruebas de conformidad para LTE. La complejidad de dichas pruebas se ve multiplicada por el número de las posibles configuraciones de RF, las cuales pueden afectar al rendimiento del receptor y al de la totalidad del sistema. La octava edición de las especificaciones 3GPP define 15 bandas de frecuencia posibles por FDD y 8 bandas de frecuencia posibles por TDD. En cada banda, los anchos de banda de transmisión y recepción abarcan de 180 kHz a 18 MHz. Además, el UE debe pasar las

pruebas de conformidad ya definidas para aquellas tecnologías anteriores con las que es compatible, así como cualquier nueva prueba de inter-RAT (tecnologías de acceso por radio) definida para LTE.

Queda claro que se requieren planteamientos de prueba rápidos y flexibles para poder acomodar dicha complejidad y que, además, un desarrollo escrupuloso utilizando nuevos métodos de prueba entre dominios y herramientas que combinen simulación y medida de hardware serán contribuciones valiosas en dicha área.

Acerca del autor

Moray Rumney pasó a formar parte de Hewlett-Packard/Agilent Technologies en 1984, tras haber completado una licenciatura en ingeniería electrónica (BSCA) en la Universidad de Heriot-Watt de Edimburgo. Desde entonces, Moray ha seguido una variada trayectoria profesional desde ingeniería de producción, desarrollo de productos, ingeniería de aplicaciones y, más recientemente, marketing técnico. Su principal punto de atención se ha centrado en el desarrollo y diseño de sistemas de emuladores de estaciones base utilizados para desarrollo y prueba de teléfonos móviles. Moray se incorporó a ETSI en 1991 y a 3GPP en 1999, donde participó de manera importante en el desarrollo de pruebas de homologación para bandas GSM y UMTS. En la actualidad, representa a Agilent en RAN WG4, desarrollando la interfaz aérea para HSPA+ y LTE. Moray ha publicado numerosos artículos técnicos en el campo de las comunicaciones móviles y suele ser orador y presidente habitual en conferencias del sector. Es miembro de IET (Instituto de ingeniería y tecnología) e ingeniero colegiado.

Si desea obtener información más detallada sobre los desafíos relacionados con el diseño y las pruebas de receptores de LTE, visite la página www.agilent.com/find/LTEbook