

SDR: Las radios definidas por software requieren pruebas avanzadas

Por J. Mees y J. Ojeda

Jonathon Mees, director de desarrollo de mercado de la división de pruebas de RF de Tektronix, Inc para EMEA

Juan Ojeda, departamento comercial de AFC Ingenieros (jojeda@afc-ingenieros.com)

Hoy en día y más que antes, las tecnologías de radio frecuencia (RF) se están desarrollando para su adaptación - adaptación a un espectro de RF muy poblado - a los diversos requisitos de la red y a los cambios en las especificaciones de los dispositivos. En ningún otro lugar es esto más evidente que en el caso de SDR (Software Defined Radios) que permiten a un software controlar de forma dinámica los parámetros de las comunicaciones tales como la banda de frecuencias utilizada, el tipo de modulación, los tipos de datos y los esquemas de saltos de frecuencia.

La SDR es ventajosa, ya que ofrece más flexibilidad que las tecnologías convencionales de RF, lo que permite la reconfiguración eficiente de los dispositivos en respuesta a las nuevas necesidades. Sin embargo, las radios por software introducen una serie de nuevos problemas que no están presentes en los diseños inalámbricos tradicionales. Una de las más importantes consecuencias en la capa física es que el hardware de un diseño robusto de SDR requiere una amplia capacidad de adaptación y alto rendimiento de acuerdo a una amplia gama de parámetros de funcionamiento a fin de responder a las exigencias del software. En este momento se está utilizando la SDR en numerosas áreas, entre ellas se incluyen: las estaciones base inalámbricas de 3G y los equipos de sus usuarios, en radios militares como JTRS (Joint Tactical Radio Service) en los EE.UU, en radios móviles terrestres, como el Proyecto 25 en los EE.UU y el Proyecto Mesa en Europa y en los transceptores de satélites.

Por supuesto, este nivel de flexibilidad y de cantidad de variables de un SDR debe ser capaz de acomodar los complicados requisitos de diseño y eso introduce la necesidad de nuevas metodologías de ensayo. Además de la red de control de la frecuencia de funcionamiento, las SDRs más avanzadas permiten el control de los

esquemas de modulación, de los patrones de salto de frecuencia, de los niveles de potencia, de los esquemas de codificación de datos y de las velocidades de transmisión. La generación de formas de onda de radiofrecuencia a través del procesamiento de señales digitales (DSP) y la integración de circuitos digitales y de RF, a menudo en el mismo circuito integrado, crean también problemas que no se observaban en los diseños tradicionales de transceptores de RF.

Esta complejidad añadida presenta no sólo problemas de diseño en RF, sino que también cambia la naturaleza de las pruebas de RF. Las prestaciones de los transmisores de SDR se deben verificar con medidas que están más allá de las tradicionales pruebas de conformidad de los transmisores de radiofrecuencia. El simple paso de las pruebas de conformidad no garantiza el que un dispositivo funcione correctamente, ni el que sea rentable en cuanto a eficacia y coste signifique que se garantiza la calidad del producto. Los transmisores SDR tendrán que ajustarse a los requisitos de un gran número de sistemas, incluyendo aquellos que no forman parte del conjunto original de requisitos. De aún mayor importancia es que estos transmisores harán uso de su inteligencia y de su flexibilidad dinámica inherente para adaptarse a las condiciones y las necesidades del momento. Estos cambios complejos controlados por software causan generalmente espurios, interferencias intermitentes, aberraciones en los pulsos, acoplamientos entre la parte digital y la parte de RF y errores de la fase que dependen del software, por nombrar unos pocos.

Para hacer frente realmente a esta mirada de estos nuevos transitorios y problemas se requiere que los diseñadores del sistema de SDR analicen y caractericen plenamente su sistema de forma simultánea en los dominios del tiempo y de la frecuencia. Como los parámetros del sistema cambian con el tiempo, los

eventos anómalos en la señal y el comportamiento no lineal del dispositivo pueden ser fácilmente descubiertos utilizando la tecnología DPX, que muestra una representación de la señal de RF en vivo. Se necesita la realización de disparos selectivos en frecuencia para determinar el instante en el que ocurre un transitorio. Se requiere la realización de un análisis multi-dominio y en correlación temporal para determinar la causa específica de cada problema. Y la captura en la memoria del evento completo es de un valor inapreciable para un posterior análisis en profundidad, ya que puede ser difícil la recreación de las condiciones en las que se produjo el disparo. Estos métodos avanzados de búsqueda de problemas para verificar las prestaciones de una señal variable en el tiempo, combinadas con las pruebas estáticas tradicionales de conformidad, son importantes para la eficacia de las pruebas de SDR.

Prueba de transceptores

Utilizando como ejemplo un transceptor de SDR, los componentes del transmisor podrían incluir amplificadores de potencia, filtros, mezcladores, DACs, osciladores y circuitos DSP. Otros componentes podrían incluir amplificadores de bajo ruido, mezcladores, ADCs, osciladores, DSPs y circuitos de control.

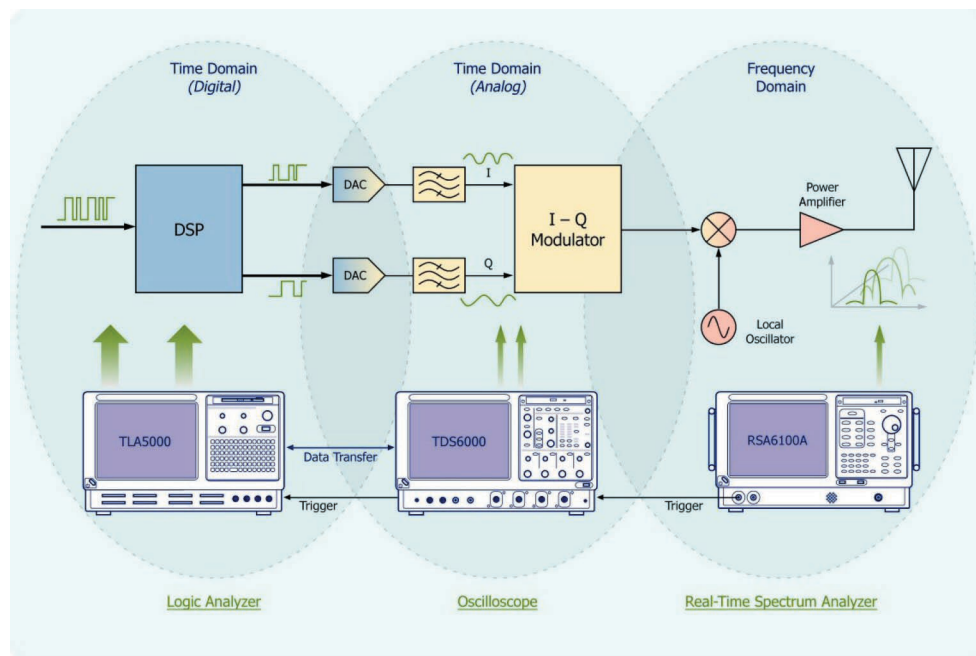
La figura 1 muestra un diagrama funcional simplificado de los bloques de un transceptor, sin frecuencia intermedia digital (IF) o RF digital. Hay que tener en cuenta que cada uno de los bloques en este diagrama podría ser controlado por el software.

La verificación de las prestaciones de un transceptor típico de SDR exige un planteamiento integral de la estrategia de prueba que correlaciona las medidas realizadas en diferentes puntos a lo largo de la cadena transmisor/receptor. Por ejemplo, una señal intermitente puede ser capturada mediante el disparo por máscara

de frecuencia (FMT: Frequency Mask Trigger) de un analizador de espectro en tiempo real (RTSA). El RTSA puede utilizar la violación de la máscara de frecuencia para disparar un analizador lógico y un osciloscopio, lo que permite al usuario mirar las características de la parte digital y de la parte analógica de las señales asociadas. Con este método, el diseñador puede determinar si ocurre algo en la circuitería de control o en las tensiones del control analógico que corresponden a la violación de la máscara de frecuencia. Además para eliminar la división entre la parte digital y la de RF mediante un disparo avanzado, los RTSAs de más alta gama pueden analizar y visualizar la señal en los dominios del tiempo, de la frecuencia y de la modulación, todo ello con correlación temporal.

Más allá de las pruebas de conformidad sobre estados estáticos

Las pruebas de SDR incluyen intrínsecamente las pruebas tradicionales de los transmisores. Cada una de las diferentes configuraciones posibles de la radio deben ajustarse a las especificaciones tradicionales, tales como el ancho de banda ocupado, la potencia del canal y la potencia del canal adyacente. Para los sistemas dúplex por división de tiempo o multiplexados por división en el tiempo hay requisitos tales como los tiempos de subida/bajada. Para los sistemas con salto de frecuencia, puede haber a la vez especificaciones en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo relacionadas con el sistema PLL para los saltos de frecuencia. A diferencia de un transceptor convencional, el dispositivo de SDR deben pasar estas pruebas en virtud de una variedad mucho más amplia de sus modos de funcionamiento, incrementando por ello la complejidad de las pruebas de conformidad.



Las medidas de la calidad de la modulación son también un elemento importante en las pruebas de conformidad. Para señales moduladas digitalmente, estas suelen incluir las medidas de la magnitud del vector de error (EVM: Error Vector Magnitude) o la correlación de potencia (RHO). Por otra parte, los diseños de SDR que soportan modos analógicos deben pasar pruebas de conformidad con modulación analógica. La calidad de la modulación es a la vez una medida de conformidad y una medida de las prestaciones del sistema. Un nivel pobre de EVM reduce la velocidad de la transmisión de los datos, la claridad de las transmisiones de voz y el rango transmitido. La medición del EVM da también una idea de los posibles problemas del transmisor. Por estas razones, el nivel de EVM es una de las primeras cosas a examinar cuando se buscan problemas en SDR.

Lamentablemente, las pruebas de conformidad por sí solas no son suficientes para garantizar un correcto funcionamiento de SDR. Con el fin de lograr la flexibilidad de la red, cada dispositivo SDR tendrá que

cambiar sus parámetros de funcionamiento más importantes a lo largo del tiempo para mantenerse al tanto de las demandas de la red. Por supuesto, todos estos cambios son ejecutados por el software de control del hardware del transceptor. Por lo tanto, es esencial utilizar una herramienta que sea capaz de ayudar a capturar los posibles espurios de RF, los transitorios y otras anomalías y el comportamiento cambiante del dispositivo a lo largo del tiempo. La determinación del componente que ha causado el problema puede ser también una tarea importante y se requiere una estrategia sistemática para dar con la solución. Para hacer que los dispositivos y la red funcionen correctamente, es necesario tener en cuenta los nuevos métodos de análisis que ayudan a caracterizar y analizar la forma en que los enlaces de RF de SDR cambian con el tiempo.

Los RTSAs de alta gama ofrecen potentes capacidades para la solución de problemas de SDR. En primer lugar, es importante descubrir la existencia de un problema en la capa física. Estos eventos transitorios pueden

Figura 1. Diagrama funcional de bloques de la implementación típica de un transceptor SDR y de la configuración de prueba.

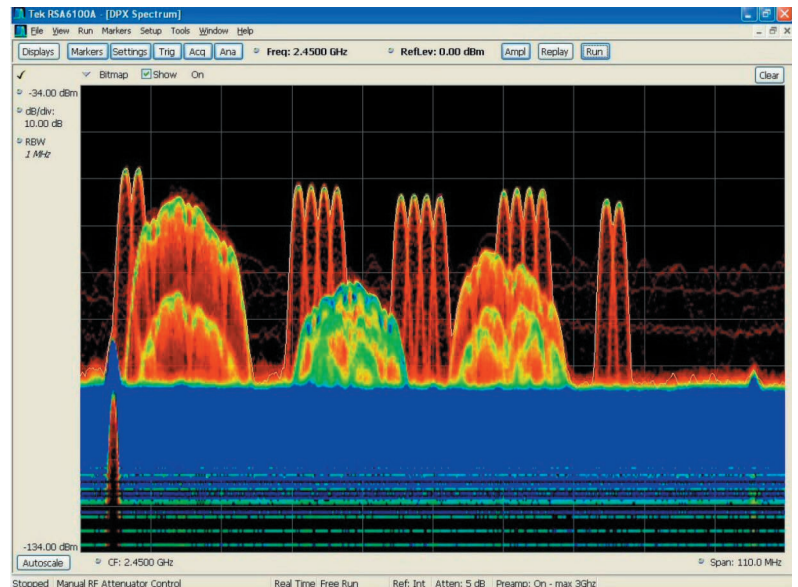
Figura 2. Visualización mediante fósforo digital de una ventana de frecuencia (span) de 110 MHz que muestra la banda ISM de 2,4GHz.

ocurrir muy rápidamente y los RTSAs de hoy en día proporcionan a los diseñadores la posibilidad de observarlos en el dominio de la frecuencia a medida que cambian con el tiempo. Una vez que se ha utilizado un RTSA para descubrir el comportamiento anómalo de la señal, el usuario puede disparar, capturar y analizar las señales asociadas en múltiples dominios con correlación temporal. Esta capacidad de ir más allá de una mera prueba de conformidad es necesaria para la caracterización dinámica de la señal y la solución de problemas.

Pruebas de los saltos de frecuencia y del transmisor

El salto de frecuencia se utiliza en muchos sistemas, incluyendo los que se definen por software, para evitar la detección, el bloqueo, la interferencia y para mejorar las prestaciones en un entorno de señales con multi-trayecto y desvanecimientos. Con salto de frecuencia se difunde la información sobre una amplia gama de frecuencias. Esto hace que los sistemas sean más robustos, ya que los errores dependientes de la frecuencia como las interferencias o como el desvanecimiento dan como resultado la pérdida de tan sólo una fracción de los datos. Con la adición de técnicas como la corrección de errores de codificación, la intercalación y la retransmisión con Hybrid ARQ (Automatic Repeat-Request), los datos que se pierden durante uno de los saltos de frecuencia interferidos pueden ser recuperados de manera eficiente.

Además de las medidas comunes como el tiempo de salto, el tiempo de establecimiento de la nueva frecuencia y el tiempo de establecimiento de la amplitud, hay otras medidas que se pueden utilizar para solucionar los problemas de las radios con saltos de frecuencias mediante un RTSA. Los saltos de frecuencia implican la interacción entre los dominios de la frecuencia, del tiempo y de la modulación. La capacidad de mostrar muchos dominios de forma correlacio-



nada en el tiempo puede ser una valiosa herramienta de solución de problemas en los dispositivos de SDR.

La figura 2 muestra una pantalla de fósforo digital con los saltos de frecuencia de un dispositivo Bluetooth. La tecnología de visualización mediante fósforo digital, tradicionalmente utilizada en los osciloscopios avanzados, se ha aplicado al dominio de la RF y ahora es utilizada por los RTSAs de alta gama. Esto permite por vez primera a los usuarios ver "señales de RF en vivo", la tecnología de fósforo digital permite lograr una visión inigualable del comportamiento de la señal de RF.

En la figura 3 se visualiza una señal de Bluetooth®. El espectrograma del RTSA (parte inferior derecha) muestra el comportamiento de la señal a lo largo del tiempo. Se puede observar que hay energía espectral en torno a esos saltos. En este caso, cuando se produce el salto de frecuencia, podría ocurrir que el transmisor interfiriese a otros dispositivos existentes en las proximidades. Es importante que el instrumento que se utiliza para captar los saltos de frecuencia tenga un ancho de banda en tiempo real suficiente para capturar una gran porción del ancho de banda donde tiene lugar la secuencia de saltos de frecuencia, así como las frecuencias que pueden ser afectadas alrededor de dichos saltos.

Aunque Bluetooth no tiene porque estar implementado utilizando radio basada en software, proporciona un buen ejemplo de los problemas que surgen al tratar de implementar un sistema basado en saltos de frecuencia. Para la mayoría de los sistemas basados en saltos de frecuencia, es importante poder medir cada una de las frecuencias del salto. Por ejemplo, la especificación de Bluetooth exige que cada una de las 79 frecuencias de salto (con 1 MHz de separación entre canales) queden dentro de los 75KHz del valor específico. Esto asegura la correcta interoperabilidad entre diferentes fabricantes de dispositivos. Para realizar esta medida, el instrumento que se utilice para medir secuencia de los saltos debe cubrir todo rango de los saltos. En el caso de la banda ISM de 2,4GHz, los RTSAs de más alta gama que ofrecen un ancho de banda en tiempo real de 110MHz son suficientes para cubrir la totalidad de los 83MHz del ancho de banda de Bluetooth y también para comprobar las interferencias que ocurren fuera de dicha banda.

En otro ejemplo que se muestra en la figura 4, se utiliza un RSA para localizar un fallo de ocurrencia poco frecuente y de difícil de detección. Esto podría ser el resultado de un transitorio en la frecuencia de conmutación, que también puede



Figura 3. Secuencia de saltos de frecuencia de la señal de Bluetooth, incluyendo (en sentido horario desde la parte superior izquierda) la frecuencia con respecto al tiempo, el espectro con una traza en rojo del espectrograma correspondiente a un determinado momento en el tiempo, una panorámica general de la potencia con respecto al tiempo y el espectrograma de 110MHz cubriendo la secuencia de saltos de frecuencia.

dar lugar a un transitorio en la fase aún mayor. Esto podría ser causado por el control inapropiado del circuito de un PLL cuando se cambia a una determinada frecuencia. Una vez que se ha identificado el espurio o el transitorio mediante la tecnología de fósforo digital, el disparo por máscara de frecuencia (FMT) de los RTSAs puede capturar la señal de forma fiable para su análisis en profundidad. Como se muestra en la figura 4, la máscara de la frecuencia es definida por el usuario y se pueden dibujar para capturar mejor la señal. En el ejemplo de los saltos de frecuencia de la señal de Bluetooth, el usuario puede definir la máscara para disparar sobre la frecuencia específica de uno de los saltos de frecuencia, más que por un cambio en el nivel de potencia. La visualización mediante fósforo digital demuestra que la señal salta aproximadamente a 3MHz por encima de la señal de interés. La máscara de frecuencia se define arbitrariamente como una envolvente

en torno a esa señal y el instrumento dispara cada vez que la señal entra en la zona de frecuencia de la máscara. Utilizando un RTSA con un ancho de banda de altas prestaciones, es posible analizar la secuencia de saltos de frecuencia y realizar una medida del tiempo de establecimiento de la frecuencia de cada uno de los saltos de frecuencia (con una resolución de 6µseg y un ancho de banda en tiempo real de 110MHz utilizando RTSAs de alta gama) para tiempos de establecimiento tan breves como 60µseg.

SDR supone un nuevo tipo de implementación para los transceptores de RF y provoca la necesidad de requisitos adicionales en el hardware de RF. Para hacer frente a la complejidad presente en la investigación y desarrollo de las radios basadas en software, se utilizan ampliamente los RTSAs para la prueba de los requisitos variables en el tiempo de los múltiples modos de operación. Estos singulares

instrumentos, con pantalla de fósforo digital, disparo por máscaras de frecuencia y capacidades de análisis multi-dominio con correlación en el tiempo, son excelentes herramientas para la búsqueda de fallos en el diseño y para la caracterización de los dispositivos SDR.

Figura 4. La máscara de disparo (FMT: Frequency Mask Trigger) se puede dibujar arbitrariamente para capturar los eventos con saltos de frecuencia. En este ejemplo, se puede disparar de forma constante sobre un salto de frecuencia de Bluetooth. Esta capacidad singular asiste en gran manera en el proceso de localización de fallos intermitentes.

