

MIMO en redes de radio avanzadas: Requerimientos y soluciones de medida

Rohde & Schwarz España



Todas las redes de radio avanzadas actuales, incluyendo las redes de radio móvil (3GPP UMTS con LTE) y redes wireless (WLAN), están sujetas a unas continuas expectativas de crecimiento de tasa de datos. Las técnicas de transmisión clásicas, como los esquemas de modulación de orden mayor y anchos de banda mayores han alcanzado sus respectivos límites. Sin embargo, se puede hacer uso de una tecnología muy compleja conocida como "múltiple entrada múltiple salida" (MIMO). Esta tecnología está asociada al aumento de requerimientos para los equipos de medida en transmisores y receptores. Este artículo describe las diferentes técnicas usadas por MIMO con su implementación en diferentes estándares. Este artículo también detalla el rango de instrumentos de medida necesarios en los diferentes estándares de radio para conseguir estaciones móviles y estaciones base preparadas para MIMO.

Cómo funciona MIMO

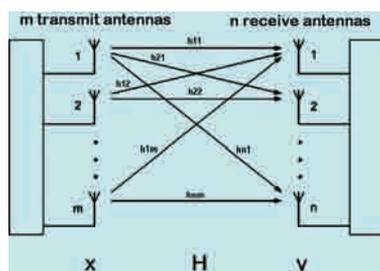


Figura 1. Principio general MIMO.

El efecto de la propagación multicamino se asocia con fluctuaciones fuertes en condiciones de propagación en el canal de radio móvil durante las transmisiones radio. Se utilizan varias técnicas de diversidad para hacer las transmisiones radio lo más robustas posible:

- Diversidad temporal: Diferentes timeslots y codificación de canal
- Diversidad en frecuencia: Diferentes canales, espectro ensanchado y multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM)
- Diversidad espacial

Figura 2. El código Alamouti.

Se usan múltiples antenas en el final de la transmisión o recepción. Los sistemas de múltiples antenas de este tipo se conocen como sistemas de múltiple entrada múltiple salida (MIMO). Además de una transmisión más robusta, MIMO también intenta aumentar la tasa de datos – usando lo que se conoce como "multiplexación espacial". En la práctica, dependiendo de la condición del canal radio, se usan tanto la multiplexación como la diversidad espacial, o la combinación de estas dos técnicas.

Un sistema MIMO consiste en m antenas de transmisión y n antenas de recepción (Figura 1). Debido a que se usa el mismo canal, cada antena recibe la componente directa deseada así como las componentes indirectas de las otras antenas.

Para ilustrar este concepto, en la siguiente descripción se asume un canal de banda estrecha con momento temporal independiente. La conexión directa desde la antena 1 a 1 se caracteriza por h_{11} y mientras, la conexión indirecta desde la antena 1 a 2 se caracteriza por la componente cruzada h_{21} y así sucesivamente.

El caso convencional con una antena de transmisión y una antena de recepción es conocido como única entrada única salida (SISO) en terminología MIMO. Si, en el caso de multiplexación espacial, un incremento en la tasa de datos beneficia a un único receptor, esto es conocido como único usuario MIMO (SU-MIMO). Si los caminos de transmisión individuales se sitúan en diferentes usuarios, esto es conocido como un multi usuario MIMO (MU-MIMO). Esta técnica es más práctica en el uplink, ya que debido a la complejidad requerida en la estación móvil se puede minimizar usando sólo una antena de transmisión. MU-MIMO es también conocida como "collaborative MIMO".

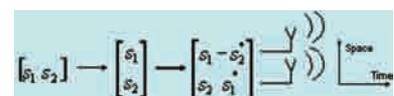
Diversidad espacial: Dos métodos para una transmisión de datos más robusta

Desde hace algún tiempo, la diversidad espacial se ha establecido en varios estándares radio, habilitando –como se indicó más arriba- una transmisión de datos más robusta.

En diversidad RX, hay más antenas al final de la recepción que al final de la transmisión. El caso más simple implica dos antenas de RX y una antena de TX (SIMO, 1x2). Este caso es muy fácil de implementar, debido a que no se precisan técnicas de codificación especiales. Sólo se requieren dos caminos de RF en el receptor. Debido a los diferentes caminos de propagación, el receptor "ve" dos señales con desvanecimiento diferenciadas. Usando la técnica adecuada en el receptor, se puede incrementar la relación señal a ruido.

Si hay más antenas de TX que antenas de RX, se usa el término de diversidad de TX. El caso más simple usa dos antenas de TX y una para RX (MISO, 2x1). Aquí, se transmiten los mismos datos de un modo redundante mediante dos antenas. El beneficio de esta técnica es que las múltiples antenas y la codificación redundante se desplazan de la estación móvil a la estación base. Allí, la implementación es más simple y económica.

Para generar una señal redundante, se usan los códigos espacio-tiempo. Alamouti [1] desarrolló los primeros códigos para dos antenas. La copia de la señal se transmite mediante una antena diferente y también a un tiempo distinto. Los códigos de espacio-tiempo combinan copias temporales y espaciales (Fig. 2). Las señales s_1 y s_2 se dividen en dos streams de datos. De esta forma, se añade en cada camino una copia codificada de las señales.



Se han desarrollado más códigos extensos pseudo-Alamouti para usarlos con múltiples antenas. La codificación también se puede implementar en el dominio de la frecuencia (codificación espacio-frecuencia).

Tasa de datos mayor con multiplexación espacial

En lugar de incrementar la robustez de la transmisión, la multiplexación espacial se utiliza para incrementar la tasa de datos. Los datos se dividen en *streams* de datos independientes y se transmiten mediante diferentes antenas. Debido a que la transmisión tiene lugar en el mismo canal, los transmisores se ven influenciados por componentes cruzadas no iguales a cero. En el peor de los casos, la influencia es tan grande que no es posible detectar el *streams* de datos en el receptor.

Si la matriz H es conocida, las componentes cruzadas se pueden eliminar por cálculo en el receptor. La multiplexación espacial típicamente se usa junto con una precodificación al final de la transmisión. Los *streams* de datos a transmitir se precodifican para maximizar la probabilidad de una transmisión satisfactoria. Usando la técnica "lazo abierto", la precodificación se realiza de una forma predefinida que también es conocida en el receptor. Usando la técnica "lazo cerrado", el receptor reporta el estado del canal al transmisor mediante un canal de retorno especial. Esto permite al transmisor responder para intercambiar condiciones y modificar la precodificación si fuera necesario.

Debido a que la (de)codificación también tiene lugar en la estación móvil con multiplexación espacial, se requiere más potencia de cálculo de los procesadores, que tiene un efecto en el tiempo de operación de la batería en las estaciones móviles.

Técnicas de transmisión radio con MIMO

3GPP UMTS

El estándar de radio móvil 3GPP UMTS ha estado en continuo desarrollo. Al principio, la técnica de acceso múltiple de banda ancha por división de código (WCDMA). Esto fue segui-

do por técnicas de aceleración de datos como el acceso de paquetes downlink de alta velocidad (HSDPA) y el acceso de paquetes uplink de alta velocidad (HSUPA). Las últimas especificaciones incluyen HSPA+ y "long term evolution" (LTE).

Un modo de diversidad de transmisión ya fue parte de la Release 99 (WCDMA). La Release 7 de la especificación 3GPP (HSPA+) expandió esta aproximación a MIMO e incrementó de nuevo la tasa de datos. Usando la modulación 64QAM más MIMO en el downlink, se puede conseguir una tasa de datos máxima de 28 Mbps (Rel. 7). Aunque MIMO y 64QAM no estuvieron disponibles simultáneamente, se introdujo su uso en paralelo comenzando con la Release 8 – el resultado fue una tasa de datos máxima de 42 Mbps. Actualmente, MIMO no está aún disponible en el uplink para HSPA+.

Modos HSPA+ MIMO:

- Antena única (SISO)
- Diversidad de transmisión
- Multiplexación espacial lazo cerrado, señalización de retorno requerida desde la estación móvil
- Max. dos antenas TX

En la Release 8, se introdujo "UMTS long term evolution" (LTE). Fue diseñado para habilitar tasas de datos mayores, latencias más bajas y transmisión optimizada de servicios orientados a paquetes. El concepto básico tras LTE implica el uso de acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) en el downlink; Las técnicas MIMO son también una parte integral de LTE. El resultado: tasas de datos máximas de hasta 303 Mbps en el downlink y 75 Mbps en el uplink.

Modos LTE MIMO en el downlink:

- Antena única (SISO)
- Diversidad de transmisión
- Multiplexación espacial lazo cerrado, no se requiere señalización de retorno de la estación móvil
- Multiplexación espacial lazo cerrado, señalización de retorno requerida desde la estación móvil
- Multi-usuario MIMO (se direcciona más de una estación móvil por recurso)
- Beamforming
- Max. cuatro antenas TX

Para minimizar la complejidad en el móvil final, se usa MU-MIMO en el uplink. Esto significa que múltiples estaciones móviles con sólo una antena cada una usan el mismo canal.

WiMAXTM

WiMAXTM (IEEE 802.16e-2005) promete una tasa de datos máxima de 74 Mbps para un ancho de banda de hasta 20 MHz.

Modos WiMAXTM MIMO en el downlink:

- Antena única (SISO)
- Diversidad de transmisión
- Multiplexación espacial lazo cerrado, se requiere señalización de retorno de la estación móvil
- Multi-usuario MIMO (se direcciona más de una estación móvil por recurso)
- Beamforming
- Máx. cuatro antenas TX (beamforming: 8 antenas)

No se proporciona una codificación especial en el uplink para SU-MIMO. Sólo se usan pilotos diferentes; MU-MIMO también se define para diferentes usuarios.

WLAN

WLAN (IEEE 802.11n) proporciona una tasa de datos máxima de hasta 600 Mbps con un ancho de banda de 40 MHz. Nota: El estándar 802.11n es compatible con los estándares anteriores 802.11 a/b/g.

Modos WLAN MIMO en el downlink:

- Antena única (SISO)
- Diversidad de transmisión
- Multiplexación espacial lazo cerrado, se requiere señalización de retorno de la estación móvil
- Beamforming
- Máx. cuatro antenas TX

Esta breve presentación muestra que la implementación de MIMO influye directamente en la ejecución de los estándares en términos de tasa de datos. Esto es por lo que se necesitan instrumentos de medida versátiles y fáciles de utilizar para verificar la funcionalidad correcta de los diferentes modos de MIMO.

Figura 5. Los instrumentos de test de Rohde & Schwarz ofrecen todo lo actualmente relevante en aplicaciones MIMO, incluyendo la generación de señal con fading, análisis de señal, y tests en transmisor y receptor en modo señalización. La figura muestra el generador de señal R&S SMU, analizador de señal R&S FSQ y medidor de comunicaciones radio de banda ancha R&S CMW500.

Soluciones de medida para estándares de radio móvil del futuro

El incremento de requerimientos involucrado en el desarrollo de estaciones base y móviles con MIMO (e.j. vida de la batería) también están asociados con el incremento de expectativas en los equipos de medida. Como se describe más arriba, es necesario generar/medir simultáneamente múltiples caminos de RF cuando se desarrollan y se miden sistemas MIMO. Rohde & Schwarz ofrece varios instrumentos de medida y sistemas que cubren los diferentes estándares radio como 3GPP UMTS, HSPA, HSPA+, LTE, CDMA2000®, 1xEV-DO, WLAN y WiMAX™.

Los analizadores de espectro/señal de Rohde & Schwarz son útiles para medidas en transmisores MIMO. Las medidas de espectro clásicas así como medidas simples de MIMO (e.j. diversidad TX) se pueden llevar a cabo con un único analizador. Sin embargo, se necesitan varios para analizar la demodulación de señales de MIMO complejas (multiplexación espacial).

Figura 3. Ejemplo de una medida de un transmisor MIMO con dos antenas.

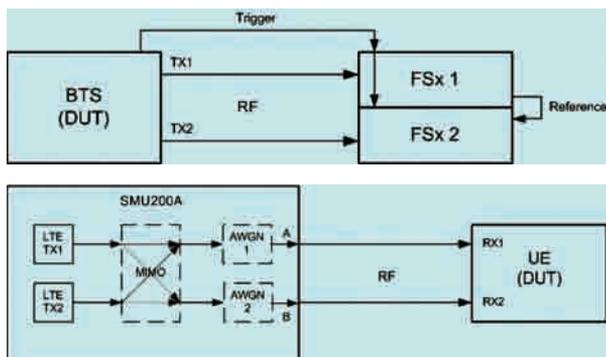
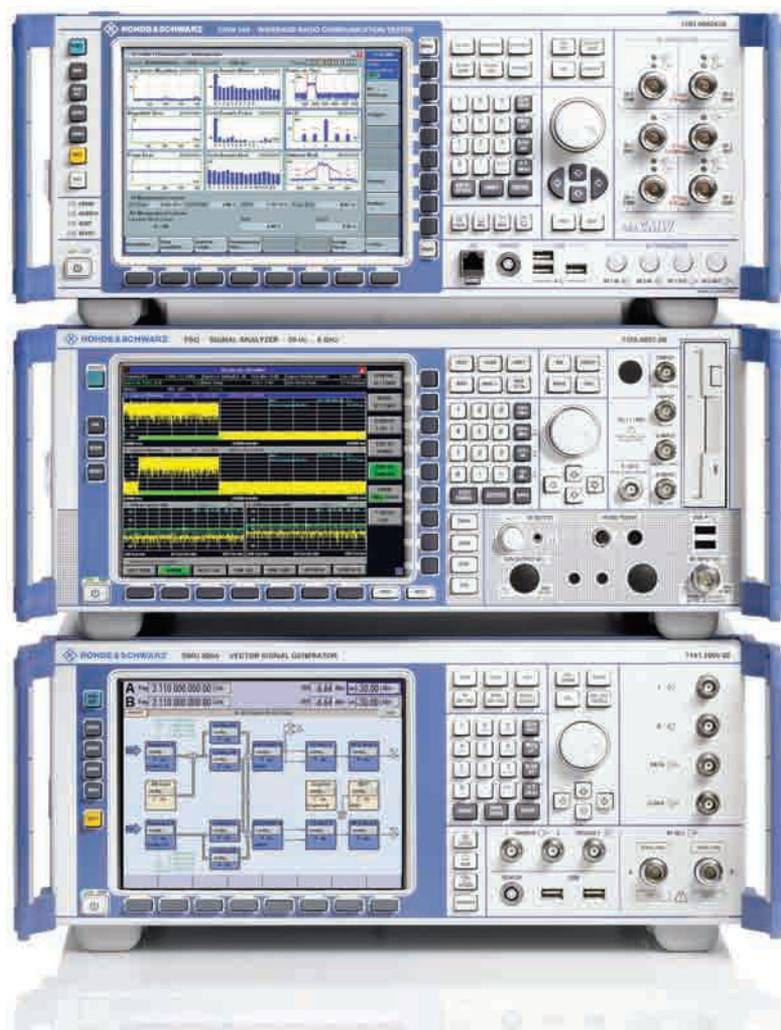


Figura 4. Ejemplo de una medida en un receptor MIMO con 2x2 MIMO.

Se deben generar múltiples señales banda base para medir un receptor MIMO. Debido a que MIMO consigue su ganancia a través de la separación espacial de los canales individuales, es crucial la simulación de los canales de fading individuales en tiempo real. Los generadores de señal de Rohde & Schwarz pueden simular cuatro canales de fading para una solución de 2x2 MIMO en un único instrumento. También está disponible la simulación de efectos como AWGN. Se pueden conectar varios generadores juntos para manejar más de dos caminos. Aquí también, se puede controlar la relación de fase (e.j. para beamfor-



ming). El fading en banda base con modelos predefinidos y AWGN está integrado en el generador.

Rohde & Schwarz también ofrece medidores de comunicación radio que combinan capacidades de medida en transmisor y receptor con señalización en un único instrumento. Son útiles para todo tipo de aplicaciones desde desarrollo hasta test de conformidad de estaciones móviles. Se pueden usar como medidores de RF y como medidores de protocolo y manejan capas 1 a 3 en el modelo ISO. También son posibles aquí pruebas de MIMO, e.j. para medidas de tasas de datos basadas en aplicaciones "reales" como FTP y TCP/IP.

MIMO también juega un papel importante en los tests de conformidad de RF y certificación de estaciones móviles. Rohde & Schwarz ofrece sistemas de medida de RF expandibles para WiMAX™, HSPA+ y LTE que se pueden usar para desarrollo a través de un test de conformidad completo.

Esto significa que se cubre el espectro completo de tests y medidas necesarias para MIMO.

Estándares del futuro

Los estándares de radio futuros también utilizarán tecnología MIMO. Actualmente se está trabajando en los siguientes estándares con MIMO:

- LTE Avanzado
- WiMAX™ Avanzado (802.16m)

De enorme interés es un incremento adicional en el número de antenas en transmisión y recepción para conseguir aumentar aún más la tasa de datos. La multiplexación espacial también se usará en el uplink. [1]

Bibliografía

- [1] S.M. Alamouti, "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications", IEEE J. Sel. Area. Comm., vol. 16, no. 8, Oct. 1998