

Analyse de signaux MIMO des normes WiMAX™, WLAN et LTE

De plus en plus de standards sans fil font appel à la technologie MIMO pour pouvoir répondre à la demande toujours croissante en capacité de transmission. La version actuelle du firmware d'application pour les analyseurs de signaux R&S®FSQ, R&S®FSG, R&S®FSV obéit à cette tendance en permettant de réaliser des mesures sur signaux TX MIMO des normes WiMAX™, 3GPP HSPA, LTE 3GPP et WLAN.

Mesures MIMO avec les analyseurs de signaux de Rohde&Schwarz

Les différentes techniques MIMO sont résumées dans l'encadré ci-dessous. Pour pouvoir réaliser des mesures sur les systèmes MIMO, les algorithmes du logiciel d'analyse doivent être adaptés en conséquence. De nombreuses applications de test, étudiées pour la vérification de paramètres de conception ou pour une utilisation en production, évaluent en premier lieu si les signaux émis sont conformes aux normes correspondantes et si les caractéristiques physiques se situent bien dans les tolérances spécifiées. Il n'est alors pas nécessaire de mesurer simultanément les différentes voies d'émission, lesquelles peuvent être vérifiées l'une après l'autre. Un seul analyseur de signaux est donc suffisant pour

déterminer par exemple le vecteur d'erreur (EVM), la puissance ou le déséquilibre I/Q.

Des mesures bien plus conséquentes sont toutefois nécessaires en recherche&développement ou pour les tests de qualification. C'est ainsi par exemple que pour reproduire intégralement les données des signaux de transmission ou pour analyser la diaphonie entre les antennes, des mesures doivent être réalisées simultanément sur les deux antennes. En mode de diversité de transmission (MISO – Multiple Input Single Output), cela est toujours possible avec un seul analyseur de signaux mais avec les procédés de multiplexage spatial, deux ou plusieurs analyseurs de signaux sont nécessaires pour calculer la matrice de canal et démoduler les signaux.

A propos des techniques MIMO

L'utilisation du MIMO (Multiple Input Multiple Output) – à savoir l'emploi simultané de plusieurs antennes d'émission et de réception – améliore la vitesse et la qualité de transmission. Cette technique tire parti de la propagation par trajets multiples dans des canaux radio, laquelle se manifeste par des interférences perturbatrices dans des standards de radio classiques. Dans les systèmes MIMO, chaque trajet supplémentaire entre l'émetteur et le récepteur améliore le rapport signal/bruit. Ce sont notamment des applications mobiles qui bénéficient considérablement de la réception par trajets multiples car le niveau de réception minimum requis peut être réduit. Les modes de fonctionnement MIMO pour deux, trois ou quatre antennes sont définis dans la plupart des normes de communication.

Dans les systèmes MIMO, on fait la distinction entre **diversité en émission** et **multiplexage spatial (Spatial Division Multiplex)**. En ce qui concerne la diversité en émission, un flux de données binaire est transmis simultanément via deux antennes mais avec un codage différent pour chacune d'entre elles. Le codage est basé sur la méthode d'Alamouti. Cela améliore le rapport signal/bruit et donc la capacité en bordure de cellules. Le taux de transmission n'est toutefois qu'indirectement augmenté du fait d'une meilleure qualité de signal. En ce qui concerne le **multiplexage spatial**, deux flux de données binaires différents sont simultanément transmis à deux antennes de réception. Cela augmente le débit de données et améliore l'utilisation de la bande passante. L'article [1] aborde cette question en détail en prenant WLAN pour exemple.

Dans les systèmes de radiocommunication mobile modernes, la station de base ajuste en permanence l'encodage du signal afin de tirer le meilleur parti de la propagation par trajets multiples. Pour réduire la corrélation entre les trajets de propagation, l'émetteur peut retarder tous les signaux de transmission – sauf un. Ce procédé est appelé **Cyclic Delay Diversity** ou **Cyclic Delay Shift**.

Pour pouvoir fournir un service de communication à plusieurs participants (plusieurs appareils mobiles), une station de base utilise normalement pour la transmission sur le réseau mobile le **Collaborative MIMO**. Ce procédé est similaire à celui du multiplexage spatial sauf qu'il n'utilise qu'une seule antenne d'émission et qu'en revanche, deux participants émettent sur la même fréquence. Cela augmente certes le débit de l'ensemble du système mais pas le débit de chaque abonné.

La **méthode OFDM** est à la base de la plupart des applications de transmission large bande. Contrairement aux méthodes mono-porteuses, un signal OFDM est composé de nombreuses porteuses orthogonales qui sont chacune modulées séparément. Compte tenu que les données sont transmises en parallèle, la durée du symbole pour un débit de transmission identique est beaucoup plus longue que dans les méthodes mono-porteuses. En OFDMA, plusieurs porteuses physiques sont combinées et un certain nombre de porteuses est attribué à chaque participant en fonction de la bande passante nécessaire. Cette méthode convient parfaitement à MIMO car le pré-codage requis peut être adapté à chaque participant individuellement.

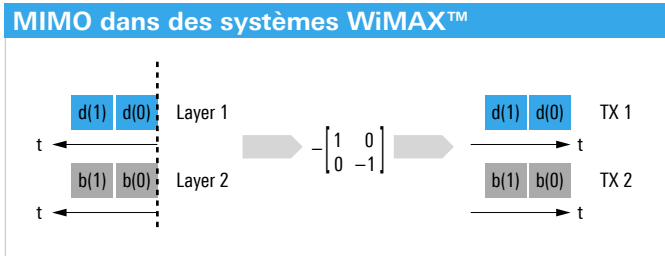


Fig. 1 L'utilisation de la matrice de transmission diagonale fait que les symboles individuels des flux de données ne sont pas distribués entre les antennes.

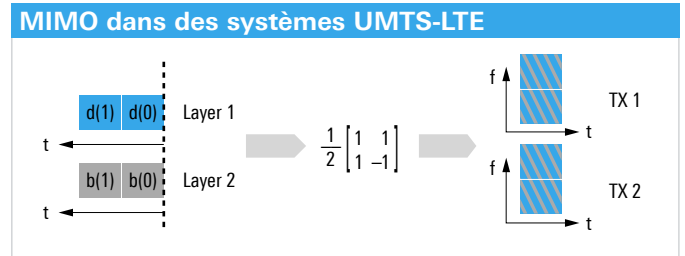


Fig. 2 Les éléments non-diagonaux entraînent la distribution d'un symbole sur plusieurs antennes.

Avec la solution proposée par Rohde&Schwarz, l'un des analyseurs agit en tant que maître et déclenche les autres qui jouent le rôle d'esclaves. Ces derniers ne servent qu'à enregistrer les données, lesquelles sont ensuite stockées de façon centralisée.

Mesures MIMO sur systèmes WiMAX™

S'il est vrai que dans la norme IEEE 802.16e-2005 MIMO est défini avec deux ou quatre antennes, les installations actuelles se limitent à deux antennes. WiMAX™ utilise les méthodes de diversité de transmission (matrice A) et de multiplexage spatial (matrice B). Les structures de burst sur l'antenne 0 et sur l'antenne 1 sont différentes. La première zone est une zone DL-PUSC (Partially Utilized SubChannelization) avec un préambule qui n'est toujours transmis que par l'antenne 0. Aucun signal n'est appliqué à l'antenne 1. Pendant la zone suivante, les deux antennes transmettent des signaux MIMO. Pour le pré-codage MIMO, l'utilisation de matrices diagonales fait que les symboles transmis ne sont pas répartis entre les antennes. Ainsi, un symbole est appliqué à l'antenne 0 et le symbole suivant à l'antenne 1 etc ... (fig. 1). C'est la raison pour laquelle il n'est pas nécessaire de capturer simultanément les signaux des deux antennes si les utilisateurs ne souhaitent pas démoduler entièrement le signal et s'ils ne veulent

analyser que les caractéristiques de transmission physiques. Les signaux MIMO transmis peuvent ensuite être analysés séparément. Un seul analyseur de signaux étant requis, les coûts relatifs à l'équipement de mesure s'en trouvent réduits. Toutefois, la réalisation de mesures sur l'antenne 1 nécessite, du fait de l'absence de préambule, l'utilisation d'un algorithme de synchronisation différent. La figure 3 montre une mesure reliée par câble sur un signal WiMAX™ matrice A. On y distingue clairement dans l'affichage temporel (en haut) les structures de burst différentes des deux voies d'antennes. Les canaux de transmission sont affichés en bas. Pour le procédé matrice A, les deux voies d'antennes peuvent être mesurées simultanément avec un analyseur.

MIMO en UMTS Long Term Evolution

Pour assurer la compétitivité de l'UMTS sur dix années et plus, les spécifications de la Long Term Evolution (LTE) UMTS (également connue sous Evolved UTRA ou Evolved UTRAN), laquelle est basée sur la technologie OFDMA, ont été définies dans la Release 8 par le 3GPP. La LTE utilise aussi bien la diversité de transmission que le multiplexage spatial, ce dernier pouvant être également combiné avec la diversité de retard cyclique (Cyclic Delay Diversity).

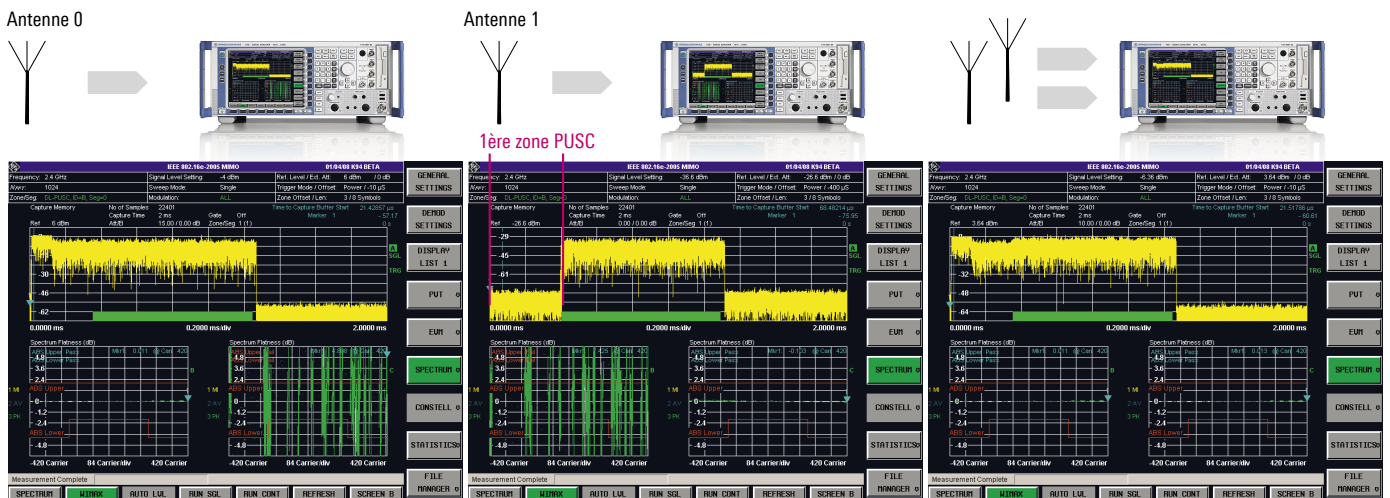


Fig. 3 Mesure des caractéristiques de canal d'un signal WiMAX™ MIMO (matrice A).

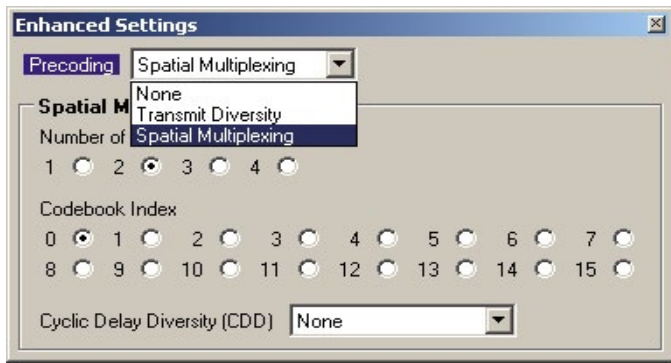


Fig. 4 Le firmware R&S®FSQ-K102 gère tous les modes MIMO.

Les données utiles (mots de code) sont embrouillées et modulées avec le format de modulation approprié QPSK, 16QAM ou 64QAM. Les informations sont alors mises en correspondance avec des Layer dont le nombre est inférieur ou égal au nombre d'antennes dans le système. La multiplication des informations réelles est ensuite effectuée avec une matrice pour le pré-codage proprement dit (fig. 2).

Les contenus de la matrice sont chargés en fonction des conditions régnant dans le canal de transmission. Il existe un grand nombre de matrices prédéfinies, désignées dans la norme par « Codebook Entries ». Si les éléments ne se trouvant pas sur la diagonale de la matrice ne correspondent pas à zéro, les données utiles sont réparties entre les antennes. Pour pouvoir analyser de tels signaux, l'analyseur doit capter simultanément les signaux RF de tous les émetteurs, de façon à ce que le contenu puisse être reconstruit. Contrairement à WiMAX™, deux ou plusieurs analyseurs de signaux sont ici requis pour évaluer la matrice de canal et démoduler les signaux. Dans ce montage de mesure de Rohde&Schwarz également, l'un des analyseurs fonctionne en tant que maître et les autres en tant qu'esclaves. L'option firmware prend en charge tous les modes MIMO avec un maximum de quatre antennes (fig. 4). Le résultat peut être représenté par exemple sous forme de diagramme de constellation après regroupement des signaux des différents analyseurs (fig. 5).

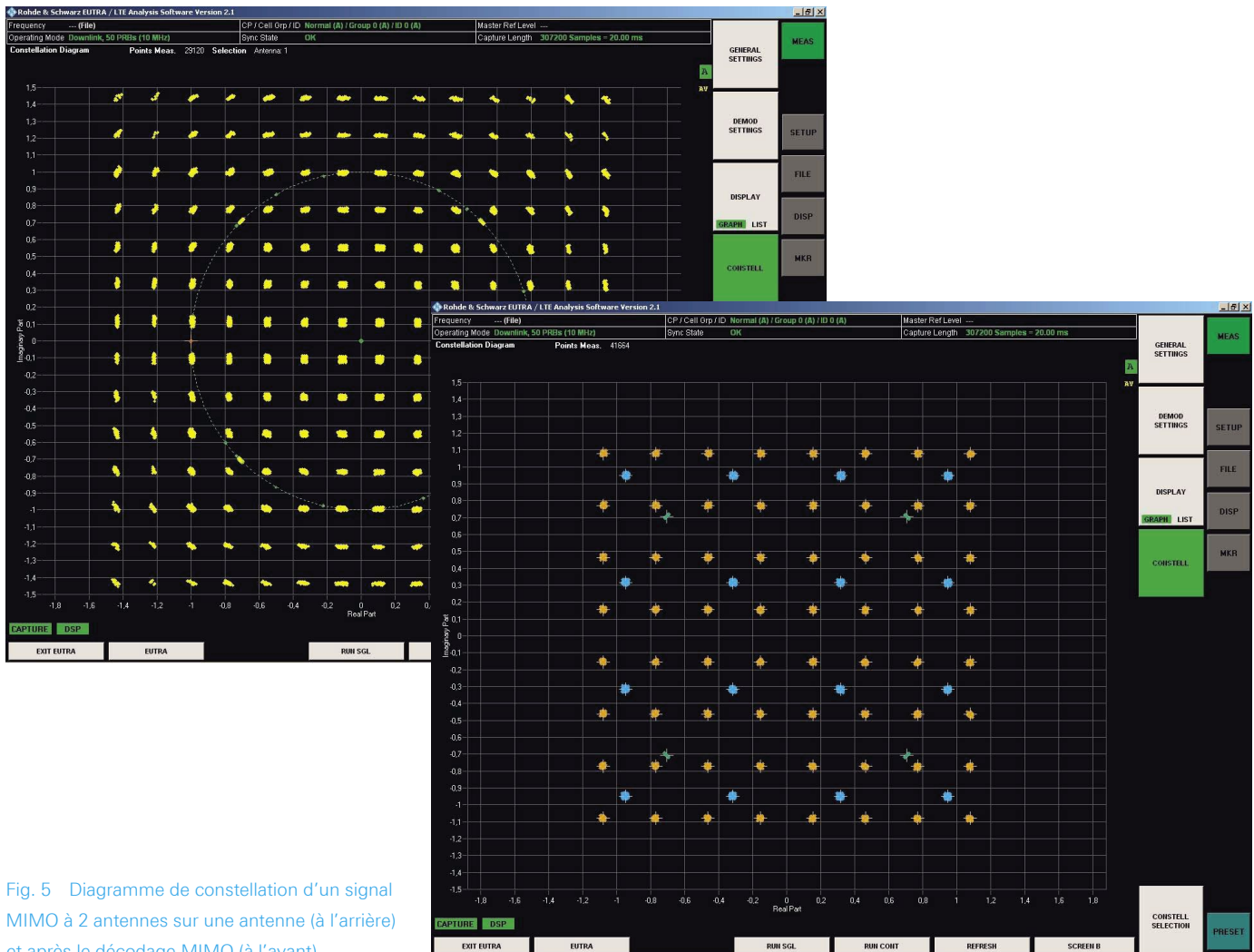


Fig. 5 Diagramme de constellation d'un signal MIMO à 2 antennes sur une antenne (à l'arrière) et après le décodage MIMO (à l'avant).

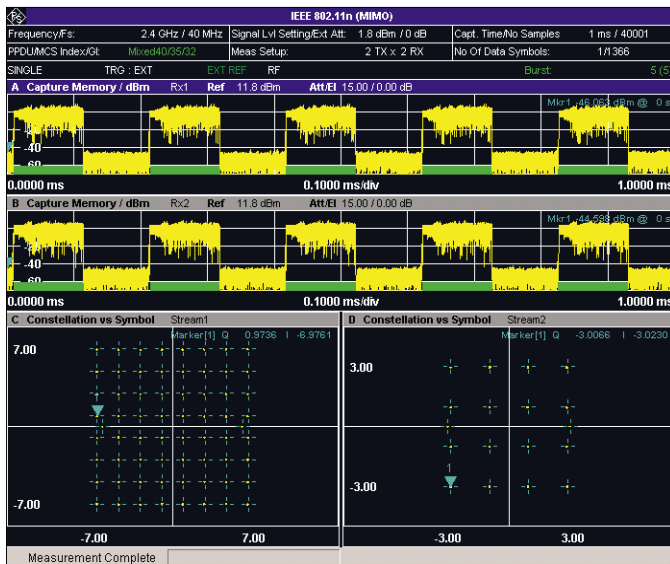


Fig. 6 Diagramme de constellation d'un signal WLAN MIMO avec flux de données à modulations différentes (16QAM et 64QAM).

MIMO et WLAN IEEE 802.11n

WLAN-n (IEEE 802.11n), l'extension de la norme sans fil IEEE 802.11a/g, doit permettre un débit de données net jusqu'à 600 Mb/s dans des LAN sans fil. Pour pouvoir atteindre cette valeur élevée, la norme définit des bandes passantes canal de 20 et 40 MHz ainsi que des applications MIMO jusqu'à quatre flux de données (voir également [2]). Compte tenu que la distribution (Spatial Mapping) des flux de données sur les différentes antennes présente des similitudes avec LTE et que des matrices diagonales ne sont pas obligatoirement utilisées pour le codage, plusieurs analyseurs de signaux sont généralement nécessaires pour l'analyse.

Avec l'option R&S®FSQ-K91n, l'analyseur de spectre et de signaux R&S®FSQ prend en charge les mesures MIMO sur des signaux WLAN 802.11n avec une bande passante de 20 ou 40 MHz et ce, dans un premier temps avec deux antennes d'émission et de réception (2x2). En raison de l'utilisation de matrices souvent non-diagonales et parfois même librement définissables, deux analyseurs sont généralement nécessaires pour réaliser des mesures WLAN MIMO. Pour effectuer des mesures de signaux de test répétitifs, des mesures séquentielles sur des antennes individuelles sont également possibles. Les signaux d'émission des antennes sont capturés successivement et stockés sous forme de données I/Q. Une matrice de commutation R&S®OSP peut alors être utilisée pour commuter les entrées des analyseurs. Les paramètres de mesure sont ensuite calculés. Des systèmes 4x4 peuvent également être mesurés dans ce mode de fonctionnement. Pour faciliter la tâche de l'utilisateur lors de la configuration des paramètres, le R&S®FSQ recherche automatiquement la

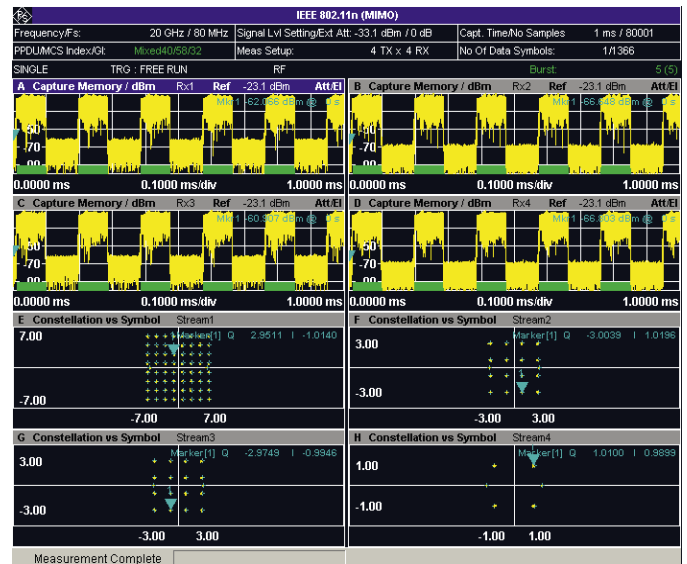


Fig. 7 Diagramme de constellation d'un WLAN MIMO 4x4 avec des flux de données à modulations différentes (64QAM, 16QAM, QPSK). Les signaux des quatre antennes ont été successivement enregistrés avec un seul analyseur de signaux R&S®FSQ puis mesurés.

quasi-totalité des principaux paramètres (fig. 6) comme par exemple la bande passante utilisée ou le mode de fonctionnement (Mixed, Greenfield).

Après l'enregistrement, le R&S®FSQ démodule le signal et affiche clairement tous les résultats dans plusieurs fenêtres, lesquelles peuvent évidemment être consultées individuellement et en agrandi. La figure 7 montre à titre d'exemple les diagrammes de constellation de deux flux de données d'un signal WLAN MIMO avec des modulations différentes.

Conclusion

Rohde&Schwarz propose des solutions polyvalentes et évolutives permettant de tester des émetteurs MIMO pour les normes WiMAX™, LTE et WLAN avec les analyseurs de signaux R&S®FSQ, R&S®FSG et R&S®FSV. Une série de générateurs de signaux est en outre disponible pour la réalisation de tests sur récepteurs [2], [3].

Johan Nilsson ; Dr. Wolfgang Wendler

Bibliographie

- [1] Temps de test courts pour mesures sur émetteurs WLAN-MIMO en production. ACTUALITÉS (2010) N° 202, p. 9-10.
- [2] Générateurs de signaux R&S®Axx / R&S®SMx - IEEE 802.11n: Tous les signaux pour le développement, la production et le service. ACTUALITÉS de Rohde&Schwarz (2008) N° 195, p. 24-25.
- [3] Générateurs R&S®SMU200A / R&S®AMU200A: Tests MIMO sur récepteurs. ACTUALITÉS de Rohde&Schwarz (2007) N° 193, p. 9-10.
 - De SISO à MIMO - exploiter toutes les ressources de l'interface air (II). ACTUALITÉS de Rohde&Schwarz (2007) N° 194, p. 4-7.
 - Application Note 1MA179, "WLAN 802.11n: From SISO to MIMO".