

De SISO à MIMO – exploiter toutes les ressources de l'interface air (II)

La première partie de cet article publié dans le numéro 192 porte sur les systèmes SISO, SIMO et MISO (voir encadré en bas) et de leur application en GSM, WCDMA et WiMAX. Les tests définis pour la certification ainsi que leur réalisation ont en outre été présentés avec des appareils Rohde & Schwarz. Cette deuxième partie traite des systèmes MIMO : variantes utilisées avec les différentes normes, scénarios de test prévus et leur mise en œuvre.

MIMO (plusieurs antennes d'émission et de réception)

Les spécifications de test MIMO ayant entre-temps bien progressé, la disponibilité de ces systèmes à antennes multiples est proche. Avec MIMO, M antennes d'émission servent N antennes de réception (fig. 2). En général, le canal de transmission dans un système MIMO est décrit par la matrice canal $N_t \times N_r$ $\mathbf{H}(\tau, t)$:

$$\mathbf{H}(\tau, t) = \begin{bmatrix} h_{1,1}(\tau, t) & h_{1,2}(\tau, t) & \dots & h_{1,M_t}(\tau, t) \\ h_{2,1}(\tau, t) & h_{2,2}(\tau, t) & \dots & h_{2,M_t}(\tau, t) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ h_{N_t,1}(\tau, t) & h_{N_t,2}(\tau, t) & \dots & h_{N_t,M_t}(\tau, t) \end{bmatrix}$$

Les éléments de la diagonale principale $h_{i,i}$ décrivent alors les trajets directs de transmission entre les antennes; les autres éléments décrivent ceux des produits de mélange. Il en résulte le signal de réception $\mathbf{r}(t)$:

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{H}(\tau, t) \times \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t),$$

avec $\mathbf{H}(\tau, t)$ matrice de canal

$\mathbf{s}(t)$ signal transmis

$\mathbf{n}(t)$ bruit additif

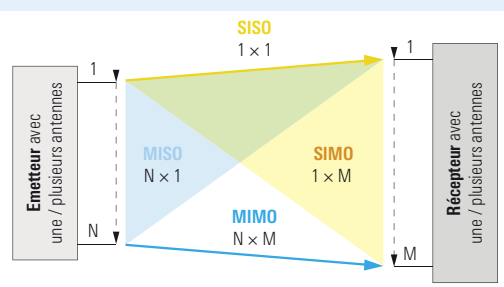
Pour MIMO, tous les concepts déjà présentés dans la première partie peuvent en principe être combinés au choix. Un débit de données plus élevé ou une transmission plus robuste peuvent être obtenus selon les procédés.

Les bonnes conditions de transmission sont logiquement mises à profit pour augmenter le débit et choisir le procédé correspondant. Si les conditions de transmission sont défavorables, ce procédé n'apportera pas le succès escompté. C'est la raison pour laquelle une méthode renforçant la sécurité de transmission prend ici toute son importance. Une meilleure sécurité de transmission aura donc finalement des effets également positifs sur la capacité utile, compte tenu du fait qu'une capacité de canal moindre sera nécessaire pour la répétition de blocs defectueux.

Etant donné que les caractéristiques d'un canal de transmission peuvent varier très rapidement, le procédé de transmission doit être adapté en

Fig. 1 Diversité – vue d'ensemble.

Les notions entrée et sortie sont toujours orientées canal de transmission. Pour le Downlink (canal de transmission de la base à la station mobile), une entrée correspond à une antenne d'émission de la station de base et une sortie à une antenne de réception de la station mobile.



De SISO à MIMO : Récapitulatif des diversités

SISO Single Input Single Output Cas classique et le plus simple : une antenne d'émission et une antenne de réception.

SIMO Single Input Multiple Output Une antenne d'émission et plusieurs antennes de réception. Souvent désigné également par diversité de réception (Receive Diversity). Par rapport au Downlink, cela correspond à une antenne d'émission pour la station de base et à plusieurs antennes de réception pour le téléphone mobile.

MISO Multiple Input Single Output Plusieurs antennes d'émission et une antenne de réception. Désigné également par diversité d'émission (Transmit Diversity). Par rapport au Downlink, cela signifie plusieurs antennes d'émission pour la station de base et une antenne de réception pour le téléphone mobile.

MIMO Multiple Input Multiple Output Version complète : N antennes d'émission servent M antennes de réception.

conséquence. Cela exige du récepteur la capacité de retourner aussi rapidement à l'émetteur cette information de qualité de canal et définit ainsi les exigences temporelles en matière de retour d'information.

Diversité d'émission (Diversity mode) avec Space Time Block Coding

Le même flux de données est transmis à partir de diverses antennes avec un codage différent (STTD – Space Time Transmit Diversity ou Space Time Block Coding selon Alamouti). Le récepteur obtient ainsi – par propagation à trajets multiples – plusieurs copies du signal. Il en résulte une amélioration du rapport signal/bruit (S/N ratio) et par conséquent, une liaison plus stable. L'amélioration est d'autant plus importante que la corrélation des canaux fading est moindre. En raison d'un effet de saturation, l'accroissement du nombre d'antennes ne peut toutefois pas augmenter à volonté le gain obtenu par la diversité d'émission.

Spacial Division Multiplexing

Avec ce procédé, les antennes d'émission transmettent en même temps plusieurs flux de données différents à un récepteur qui reçoit ainsi sur chacune de ses antennes des flux de données parallèles qu'il « suffit » alors de séparer. Cela ne réussit que si les canaux sont disponibles entre les antennes avec un fading différent (plus la corrélation est faible, meilleur est le résultat). Ce procédé pour l'amélioration de la capacité utile n'a de sens que si les conditions de transmission sont favorables. Dans ce cas, le gain possible est également limité par la corrélation des voies de transmission.

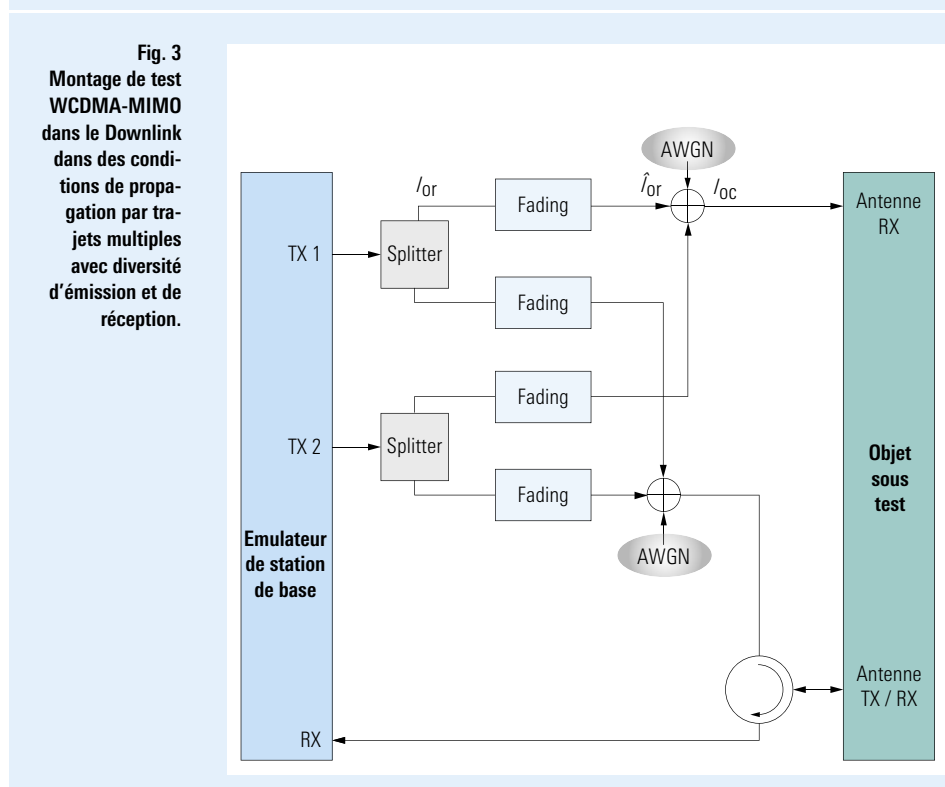
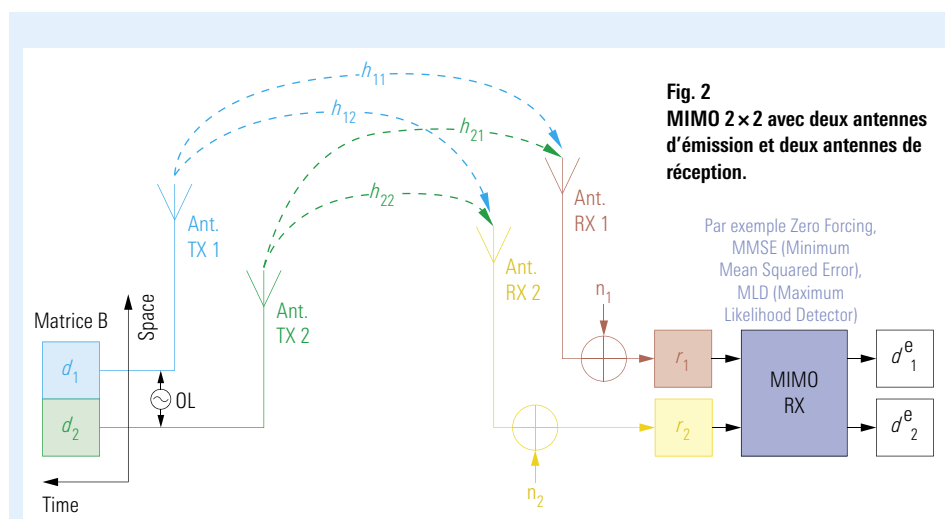
Beamforming

Dans cette méthode, les signaux ne sont pas émis de façon omnidirectionnelle mais avec des rayons (Beam) individuels formés par un réseau d'antennes pour chaque station mobile. Ainsi, la station de base suit – par l'alignement de son

réseau d'antennes avec son lobe d'émission – les mouvements de la station mobile. Cela suppose toutefois la disponibilité d'un signal dont la fréquence ou le temps ne sont attribués qu'à une station mobile donnée. En d'autres termes : chaque station mobile nécessite son propre lobe.

En GSM par exemple, une fréquence (ARFCN, Absolute Radio Frequency Channel Number) est attribuée à chaque

station mobile avec un certain nombre d'intervalles de temps, ce qui rend possible le Beamforming. En WCDMA en revanche, il est impossible pour la station de base de suivre les différents mobiles en mouvement avec son lobe d'émission car un mobile n'est classifié que par son code dans un domaine de fréquence et de temps qu'il partage avec d'autres mobiles. La connaissance des caractéristiques du canal de transmission au niveau de l'émetteur est



► indispensable pour qu'une station de base puisse orienter son réseau d'antennes vers une station mobile.

Scénarios de test définis actuellement – méthode de test

GSM

Suite aux scénarios de test pour systèmes SIDO (DARP phase 2) il n'y a actuellement en GSM pas d'autres travaux planifiés pour le MIMO.

WCDMA

Avec les tests de Diversity Performance 9.2.2C, 9.2.3C et 9.4.2A de la release 7, WCDMA introduit le MIMO dans le Downlink (figure 3). Ces tests sont aussi un élément du Work Item 26 du GCF (Global Certification Forum). La diversité d'émission est utilisée ici pour améliorer la réception d'une liaison définie dans le Downlink. Du point de vue de l'opérateur, la diversité d'émission présente l'avantage de ne nécessiter aucune modification dans les schémas de transmission de la station de base.

Contrairement aux tests pour DARP phase 2 du GSM, les canaux fading ne sont pas corrélés. Hormis un signal AWGN, aucun perturbateur n'y est prévu jusqu'à ce jour. La figure 4 montre la réalisation des tests selon WCDMA WI-26 avec le R&S®TS8950W. WCDMA progresse plus encore avec la LTE (Long Terme Evolution) définie par la release 8 des spécifications 3GPP. Les spécifications de la LTE doivent être finalisées en mars 2008 et les tests correspondants en décembre 2008.

LTE étant basée comme WiMAX (IEEE 802.16e) sur le procédé OFDMA, des scénarios de test semblables au WiMAX Wave 2 présentés dans le paragraphe suivant s'appliqueront probablement.

WiMAX (IEEE 802.16e)

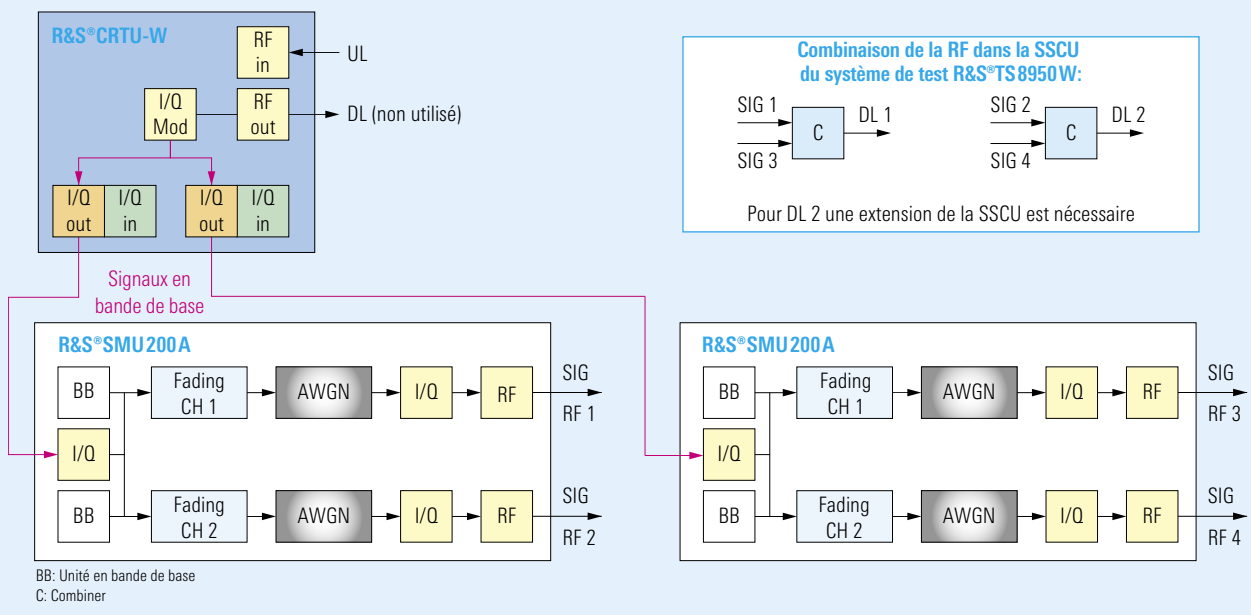
Les tests définis dans Wave 1 sont tous basés sur SISO (une antenne d'émission et une antenne de réception). Avec le profil système Wave 2, MIMO 2x2 avec deux antennes d'émission et deux antennes de réception, Beamforming inclus, sera utilisé. Une extension MIMO

4x4 est déjà prévue dans la norme IEEE 802.16e, et MIMO 8x8 est actuellement examinée par le WiMAX® Forums. Toutefois, cela ne modifie en rien le principe et ces extensions ne seront pas approfondies ici. Les scénarios de test pour le Beamforming vont jusqu'à quatre antennes d'émission par émetteur de station de base.

Avec WiMAX, on distingue les modes MIMO Matrice A et Matrice B.

Matrice A désigne un procédé de diversité d'émission dans le Downlink avec Space Time Coding selon Alamouti, lequel augmente la stabilité de la liaison lorsque les conditions sont défavorables. **Matrice B** est un procédé d'accès spatial multiple, qui comprend des procédés de transmission à mots de code aussi bien multiples que simples (également désignés par codage horizontal ou vertical) et qui augmente le débit de données lorsque les conditions de transmission sont favorables. Les procédés à matrices A et B sont permutés en fonction des caractéristiques du canal de transmission. La station de base détermine

Fig. 4 Un testeur de protocole R&S®CRTU-G/-W et deux générateurs R&S®SMU200A, également utilisés comme simulateurs de fading, produisent les deux signaux DL. Pour additionner deux signaux DL-RF et pour disposer d'un deuxième connecteur d'objet sous test, une extension de la SSCU (Signal Switching and Conditioning Unit dans le système de test R&S®TS8950W) est nécessaire.



le mode utilisé et la durée nécessaire, ce qui exige pour l'émetteur la connaissance du canal ; c'est la raison pour laquelle il est prévu lors de la signalisation un retour d'information sur la qualité de réception, de la station mobile à la station de base.

Les tests de certification prévus vérifient le gain de performance par MIMO, par exemple la sensibilité à différentes modulations, les implémentations correctes des matrices A et B ainsi que la permutation entre ces deux procédés.

Beamforming

Les tests de Beamforming pour les stations de base partent du principe que toutes les sorties d'antenne d'un émetteur dans le système de test sont combinées avec des longueurs électriques différentes. La station de base doit compenser ces temps de propagation différents de telle sorte que tous les signaux arrivent avec la même phase à l'éémulateur de station mobile (MSE) et qu'ils s'y additionnent. Dans le meilleur des cas, le MSE « reçoit » alors un multiple de la puissance conformément au nombre d'antennes. La preuve de la fonctionnalité de Beamforming est apportée par l'évaluation du gain de sensibilité.

Tests MIMO 2 x 2 pour WiMAX

Les tests MIMO Wave 2 exigent un modèle de canal 2 x 2 avec un fading corrélé (fig. 5). Un R&S®AMU 200A doté de deux entrées I/Q externes et de l'option-K74 « Fading Split Mode » peut réaliser, ensemble avec deux étages de sortie RF, une simulation canal 2 x 2 MIMO complet (fig. 6). La matrice de corrélation complexe est librement programmable. Le WiMAX® forum a défini trois matrices différentes (corrélation faible, moyenne et forte).

Conclusion

Plus de 6 mois se sont écoulés depuis la première partie de cet article. Durant cette période, un grand nombre de nouveaux tests ont été définis et certains ont été rejetés mais l'avancée continue avec une dynamique toujours aussi

intense. Beaucoup d'idées n'attendent que leur concrétisation. En tout état de cause, Rohde & Schwarz continue en parallèle de perfectionner les appareils et systèmes de test de conformité et met directement à disposition les possibilités de test indispensables – « intégrant » ainsi la pérennité.

Josef Kiermaier

Fig. 5 Montage avec modèle de canal 2 x 2 et fading corrélé pour tester une station de base avec le système de test R&S®TS 8970.

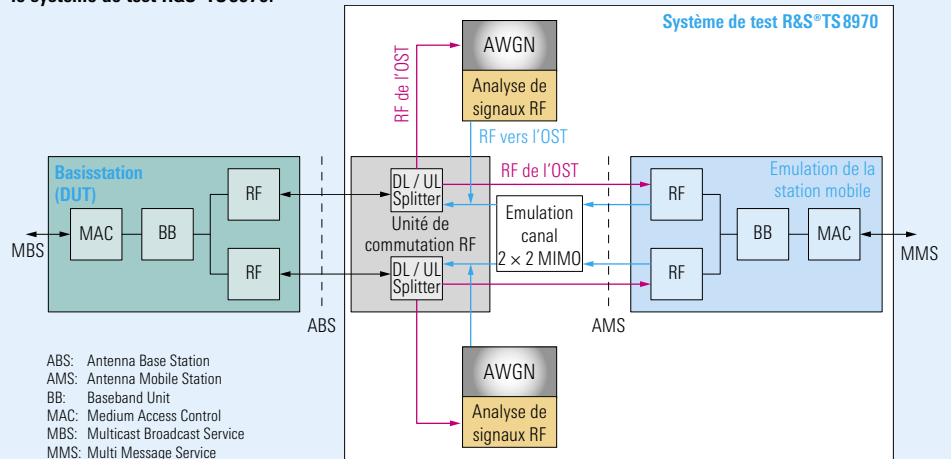


Fig. 6 Un générateur R&S®AMU 200A et deux étages de sortie RF simulent un canal 2 x 2 MIMO (les deux générateurs R&S®SMU 200A peuvent aussi être remplacés par un générateur R&S®SMATE).

