Big data et l'Internet des objets

Comment l'industrie des communications mobiles relève le défi

Les applications à venir telles que celles liées à l'Internet des objets, à la communication mobile large bande et aux véhicules autonomes exigent des réseaux mobiles extrêmement performants. La 5G, prochaine génération de communication mobile, doit fournir les performances requises. Mais les continuelles améliorations technologiques, notamment liées aux réseaux LTE / LTE-Advanced permettent d'atteindre progressivement cet objectif. Voici pourquoi.

Le standard GSM a été finalisé en 1990. Les communications mobiles numériques fêtent aujourd'hui leur 26eme anniversaire. Les spécifications GSM ne présentent cependant aucun signe d'essoufflement, loin s'en faut. Le volume de données dans le domaine des communications cellulaires va toujours croissant et les progrès technologiques restent nécessaires. La multiplication par dix du trafic de données mobiles est attendue dans les six prochaines années, et les experts prédisent une augmentation exponentielle du nombre d'objets connectés à Internet (IoT pour Internet Of Things) communiquant entre eux via les réseaux mobiles. Le rapport sur la mobilité d'Ericsson indique que le nombre total d'abonnés mobiles fin 2015 est de l'ordre de 7,3 milliards (incluant un milliard d'abonnés LTE), affichant une croissance du nombre d'abonnés de 68 millions au quatrième trimestre 2015 (21 millions en Inde, 6 millions en Chine, 5 millions aux Etats-Unis, 5 millions en Birmanie et 3 millions au Nigeria). Le nombre d'abonnés mobiles devrait atteindre 9,1 milliards d'ici 2021. En 2015, la consommation moyenne mensuelle de données par un smartphone était de 1,4 Go. Elle devrait monter à 8,5 Go d'ici 2021. La combinaison de ces deux facteurs va entraîner une augmentation exponentielle du trafic de données à travers le monde.

Cet article décrit comment ces immenses volumes de données sont actuellement transmis et de quelle façon les opérateurs de réseaux mobiles s'assurent que leurs abonnés disposeront dans le futur d'une expérience utilisateur d'excellente qualité.

Technologies 2G / 3G / 4G et les futures améliorations

Concernant les technologies mobiles 2G (GSM, GPRS, EDGE), 3G (UMTS, HSPA, HSPA+) et 4G (LTE / LTE-Advanced (LTE-A)), il est évident que l'introduction de nouvelles méthodes de transmission au niveau de l'interface air entre les stations de base et les équipements sans fil ainsi que l'optimisation de l'architecture du réseau mobile a conduit à de significatives améliorations. Le taux théorique de transmission de données pour chaque équipement a augmenté de quelques 100 kbit/s (EDGE) à 42 Mbit/s (HSPA+) pour atteindre plusieurs centaines de Mbit/s (LTE / LTE-A). Le nec plus ultra, les équipements LTE-A supportent un débit de 600 Mbit/s dans l'environnement idéal d'un laboratoire. En réalité, les conditions de propagation et le principe du partage de canal réduisent les vitesses de transfert atteignables du fait que la largeur de bande disponible est partagée par tous les abonnées actifs. Cependant, la technologie LTE / LTE-A a significativement amélioré les vitesses de transfert et les capacités réseau. Les innovations suivantes ont été cruciales pour y parvenir.

- Une large bande système de 20 MHz peut être attribuée à un seul abonné ainsi que la possibilité de regrouper jusqu'à cinq fréquences porteuses de 20 MHz pour chaque abonné par une technique couramment appelée agrégation de porteuse (CA pour

Carrier Aggregation). C'est l'amélioration la plus significative de la version 10 des spécifications LTE-Advanced du 3GPP.

- Le recours au multiplexage spatial (technologie MIMO), c'est à dire l'exploitation de deux à huit/quatre antennes de transmission/réception

- Le multiplexage rapide OFDMA, c'est à dire l'allocation de ressource temporelle et fréquentielle peut être modifiée en une milliseconde. La ressource la plus petite qui peut être allouée à un équipement sans fil correspond au bloc de ressource (RB pour resource block) à une fréquence de 180 kHz pour une durée de 0,5 ms.

- Méthodes de modulation de haute qualité, notamment QPSK, 16QAM, 64QAM et 256QAM.

Une architecture réseau optimisée et une transmission de données par paquets commutés réduit les temps de réponse réseau. Les smartphones LTE chargent les pages Internet bien plus rapidement que les anciennes technologies.

Le lancement de la technologie LTE / LTE-A a permis aux opérateurs de réseau de répondre à la demande croissante de débit. Le succès de cette technologie est confirmé par le fait que 494 réseaux commerciaux ont été implémentés dans 162 pays à travers le monde depuis que le premier réseau commercial LTE a été exploité fin 2009 (source: Global Mobile Suppliers Association (GSA), avril 2016). Les améliorations essentielles du LTE proposées par le groupe de standardisation 3GPP (selon la version 10, LTE porte aussi la référence de LTE-Advanced or LTE-A) sont présentées dans la suite de l'article.

LTE propose un service spécifique de diffusion multimédia multisupport amélioré qui rend possible d'allouer les mêmes ressources (fréquentielles et temporelles) à plusieurs abonnés au sein d'une cellule. C'est une méthode extrêmement efficace pour les applications de télévision mobile, lorsque par exemple plusieurs abonnées reçoivent simultanément les mêmes données. Ce mode permet aussi une mise à jour logicielle efficace des équipements mobiles – opération généralement toujours réalisée par une connexion individuelle à chaque équipement.

Les interfaces Wi-Fi sont implémentées sur la plupart des équipements sans fil depuis que des liaisons Wi-Fi sont disponibles à domicile et dans de nombreux lieux publics. Nombre d'opérateurs mobiles installent également des points d'accès Wi-Fi dans des zones très fréquentées telles que les aéroports pour offrir un accès alternatif à Internet. L'utilisateur de l'équipement mobile doit simplement activé la fonction Wi-Fi pour s'y connecter. Certains équipements mobiles disposent également d'une application dédiée qui active son interface Wi-Fi dès qu'il détecte un point d'accès suffisamment performant. Dans de tels cas, le trafic de données est routé via le réseau mobile ou Wi-Fi. Selon les spécifications 3GPP, un mode spécifique peut par exemple être mis en oeuvre par une application de messagerie exploitant en tâche de fond le réseau Wi-Fi alors que les données vidéo sont transmises par le réseau LTE. Il n'a cependant pas (encore) été adopté sur les réseaux commerciaux. Généralement, les opérateurs de réseau gagnent considérablement en flexibilité en employant les réseaux Wi-Fi et LTE et peuvent ainsi offrir à leurs abonnés de plus hauts débits et davantage de capacité. L'exploitation des bandes de fréquences libres de droit constitue une alternative (LAA, pour licensed-assisted access) qui est proposée par la version 13 du 3GPP (approuvée en mars 2016). Plutôt que de passer du LTE au Wi-Fi, le LTE est utilisé, par

exemple, dans la bande ISM libre de droit de 2,4 GHz et le taux de transfert de données croît par le biais de la technologie d'agrégation de porteuse. Une fonction d'écoute avant d'émettre est intégrée au standard LTE pour éviter les conflits et s'assurer que l'accès aux bandes de fréquences est permis seulement lorsqu'une capacité suffisante est disponible. Finalement, l'agrégation de données du LTE et du Wi-Fi sur la couche IP est possible, de même qu'une intégration plus poussée des cellules LTE et Wi-Fi par l'échange de paramètres radio entre les schémas d'accès. 3GPP propose ainsi des solutions complémentaires utilisant les technologies LTE et Wi-Fi. Les déploiements commerciaux décideront si et lesquelles de ces solutions seront adoptées.

Les réseaux LTE emploient la même fréquence dans chaque cellule, ce qui conduit à des interférences inter-cellules aux limites de leur périmètre. Un équipement sans fil en communication avec une station de base reçoit les signaux de la station de base de la cellule environnante qui envoie des signaux aux équipements qui y sont connectés. Cela entraîne des interférences et limite la vitesse de transfert atteignable, un phénomène qui impacte particulièrement les environnements réseaux hétérogènes, c'est à dire les topologies réseaux dans lesquels plusieurs petites cellules (femto ou pico) opèrent au sein d'une plus large cellule (macro). Les zones piétonnes en sont la parfaite illustration. Des petits points d'accès de haute capacité couvrent des zones de fort trafic, alors qu'elles peuvent déjà être à portée de réception d'une cellule de plus haut niveau qui couvre certaines parties de la ville. La réception et la transmission multipoint coordonnées (CoMP pour Coordinated multipoint transmission and reception) a été conçue pour éviter ce phénomène. Le procédé CoMP rend possible la transmission d'un signal à un équipement sans fil aux limites du périmètre de la cellule de manière coordonnée. Il existe plusieurs façons de mettre en oeuvre cette coordination. Dans le cas le plus simple, il est simplement décidé quelle station de base, parmi toutes celles éventuellement disponibles, sera utilisée pour la transmission. Les autres options comprennent l'allocation de blocs de ressource pour les équipements mobiles ou l'orientation des faisceaux d'antenne des stations de base impliquées pour minimiser les interférences.

L'utilisation de la technologie MIMO ainsi que le traitement du signal de la bande de base (précodage) de manière coordonnée autorisent une couverture optimale aux limites du périmètre de la cellule. Une technologie complémentaire baptisée double connectivité a été spécifiée par la version 12 du 3GPP afin d'améliorer davantage les réseaux hétérogènes. L'équipement sans fil est configuré pour une connexion à deux stations de base à deux fréquences porteuses distinctes. La station de base maître (eNodeB en LTE) sert la cellule macro de plus haut niveau, et l'eNodeB sert le point d'accès, c'est à dire la cellule pico ou femto. Dans cette configuration, l'eNodeB maître utilise des paramètres tels que le trafic cellulaire ou la vitesse de l'équipement pour décider d'utiliser la cellule macro ou le point d'accès pour le transfert de données. Le passage de l'un à l'autre est extrêmement rapide et ne demande pas de signalisation supplémentaire. Cela préserve la capacité de signalisation et minimise les erreurs lors du passage de relais. Au niveau des équipements sans fil, les interférences aux limites du périmètre des cellules peuvent être évitées en employant des récepteurs capables de reconnaître ce genre d'interférences et qui mettent en oeuvre des algorithmes appropriés pour les éliminer du signal reçu. Des informations complémentaires concernant les interférences potentielles peuvent également être fournies par le réseau pour améliorer de tels traitements. Concernant le standard LTE, ces technologies sont réunies sous les acronymes feICIC (further enhanced intercell interference coordination, inclus dans

la version 11 du 3GPP) et NAICS (network assisted interference cancellation and suppression, inclus dans la version 12 du 3GPP).

L'introduction des capacités D2D (device-to-device) est particulièrement importante, puisqu'elle propose deux nouvelles fonctions fondamentales. Premièrement, la fonction de découverte du réseau supporté rend possible à deux équipements sans fil voisins spatialement de se détecter mutuellement. Deuxièmement, ces équipements ainsi que les autres aux alentours seront à même d'échanger des données directement, c'est à dire sans passer par la station de base couvrant la zone. Cependant, lorsque au moins un équipement est situé dans la zone couverte par la cellule, l'ensemble du processus est authentifié et configuré par le réseau. L'introduction de cette toute nouvelle fonctionnalité a été initialement motivée par des considérations de sécurité publique. Les services de pompiers et de police ont besoin d'échanger une grande quantité de données (images, vidéos) entre de petits groupes d'individus, certains d'entre eux pouvant être situés en dehors des zones couvertes par le réseau, comme par exemple au sous-sol d'un bâtiment en feu. L'échange de données entre des équipements sans fil connectés de cette manière sera initialement limité aux applications de sécurité et de sûreté. Au début, l'usage par le grand public sera réservé aux services de diffusion liés à ce genre d'application. D'autres usages commerciaux sont envisageables et sont aussi en discussion dans le cadre du processus de développement de la 5G. Les applications automobiles sont particulièrement concernées, telles que celles relatives aux véhicules autonomes.

Bien que les réseaux LTE / LTE-A gagnent en performances, la couverture 4G complète va prendre du temps. La transition des technologies 2G et 3G au LTE / LTE-A reste délicate. Il existe aussi de nombreux domaines pour lesquels de faibles taux de transfert sont suffisants. L'accent est mis sur les solutions d'un bon rapport coût/performance et assurant une longue autonomie de fonctionnement sur batterie. Dans les applications M2M (machine-to-machine) des modules intégrant la technologie GPRS conçus pour fonctionner durant des années sont souvent utilisés. Cependant, les technologies LTE /LTE-A ont déjà intégré plusieurs améliorations à destination des applications M2M. Il existe par exemple une catégorie 0 pour les équipements utilisateurs LTE qui facilite l'implémentation de ce type d'application (taux de transfert plus faible et n'exploitant pas les technologies MIMO). Des procédés sont également proposés pour éviter la surcharge du réseau mobile quand un grand nombre d'applications M2M tente d'accéder au réseau simultanément. La version 13 du 3GPP simplifie encore davantage les opérations. La nouvelle catégorie M de l'UE supporte seulement 1,4MHz de largeur de bande et une puissance de sortie maximale de seulement 20 dBm. Le mode NB-IoT (Narrow-Band IoT) propose une largeur de bande de seulement 180 kHz, alors qu'en liaison descendante le mode OFDMA avec sous porteuses à 15 kHz est maintenu, mais en liaison montante un tout nouveau mode SC-FDMA de transmission uni-ton avec sous-porteuse à 3,75 kHz est ajouté. Une meilleure couverture peut aussi être obtenue par la répétition de canaux.

En résumé, la technologie LTE / LTE-A répond pour le moment aux exigences accrues du trafic de données mobiles ainsi qu'à celles des applications M2M / IoT. L'augmentation des capacités de transmission mobile et l'IoT font partie des principaux points en discussion pour la prochaine génération du standard de communication mobile (5G). Qu'est ce qui motive l'industrie à lancer une nouvelle génération de communications mobiles d'ici 2020 (ou en 2018 dans certaines régions du monde)? Premièrement, la croissance régulière du nombre d'abonnés et des taux de transfert, car même les technologies LTE / LTE-Advanced

et toutes ses améliorations ne seront pas à même d'y faire face à long terme. Deuxièmement, l'émergence de nouvelles applications industrielles exige d'améliorer significativement la latence du réseau mobile. Ces applications exigeront pour le moins partiellement des connexions extrêmements fiables et sécurisées. Il sera alors possible d'utiliser les communications cellulaires dans l'industrie automobile (pour les véhicules autonomes notamment) et les applications liées au concept de l'Industrie 4.0, générant de nouvelles sources de revenus. Des temps de latences attendues, de l'ordre d'une milliseconde, sont impossibles à implémenter avec les technologies LTE/LTE-A. Outre ces arguments technologiques, le cycle de développement des standards précédents prévoit que la prochaine évolution technologique aura lieu en 2020. Le GSM a été introduit en 1990, l'UMTS en 2000 et le LTE en 2010. Il faut également noter que les jeux olympiques de 2020 auront lieu au Japon, un pays qui est très impliqué dans le développement de la 5G (ce qui ne constitue naturellement pas la seule raison).

Les instituts de recherche et les centres de développement des principales entreprises de communication mobile, mènent déjà des études approfondies dans le domaine des technologies 5G. Ces efforts se concentrent essentiellement sur quatre aspects technologiques qui feront l'objet de discussion lors de l'établissement des futures exigences. Les premiers efforts de recherche chercheront à identifier quelles autres bandes de fréquences peuvent être disponibles pour augmenter significativement la largeur de bande. Cette recherche couvre le spectre de fréquences jusqu'à 100GHz avec des largeurs de bande jusqu'à 2 GHz. La modification significative des conditions de propagation de canal joue ici un rôle essentiel. Les chercheurs doivent analyser ces conditions avant de pouvoir développer et évaluer les modèles de canal adaptés pour valider de nouvelles technologies (le prochain article présente la façon d'analyser les canaux potentiels). L'utilisation d'un grand nombre d'antennes de réception et de transmission (de l'ordre de 100) est aussi en cours d'évaluation. Elles peuvent être employées pour augmenter les taux de transfert de données dans le spectre de fréquences en dessous de 6GHz via des techniques MIMO avancées. Dans la gamme des hautes fréquences, elles sont nécessaires pour procurer le gain d'antenne requis pour atteindre des tailles de cellules appropriées.

Les nouvelles technologies d'interface air sont en discussion avec des fréquences significativement plus élevées et la manière de parvenir à des temps de réaction extrêmement court. Certaines de ces interfaces disposent de fonctions de filtrage additionnelles basées sur la technologie OFDM implémentée en LTE telles que UFMC (universal filtered multicarrier, FBMC (filter bank multicarrier), GFDM (generalized frequency division multiplexing) et f-OFDM (filtered ou flexible OFDM). Une topologie de réseau plus efficace est également à l'étude. Elle a déjà commencé à être mise en oeuvre aujourd'hui. L'idée fondamentale est de créer des fonctions logicielles spécifiques aux noeuds de communication mobiles et de les implémenter sur des plates-formes matérielles ouvertes. Cela permettra une implémentation à un coût plus abordable notamment des fonctions de noeud EPC (enhanced packet core) au coeur des réseaux mobiles ainsi que des fonctions relatives à la bande de base des stations de base. Cela permettra également aux opérateurs de déplacer ces fonctions vers des plates-formes alternatives en cas de défaillance matérielle. Au final, les processus seront semblables à ceux déjà en place dans les data centers. La virtualisation des fonctions réseau (NFV) et la définition logicielle des réseaux (SDN) ainsi que le découpage du réseau vont contribuer à l'implémentation flexible de ces fonctions dans les réseaux mobiles. Les aspects liés à la sécurité sont également largement

pris en compte.

Résumé
Les hautes performances des technologies LTE / LTE-A, leur transparence vis à vis des réseaux 2G / 3G existants et l'utilisation de fréquences non soumises à licence en complément du Wi-Fi permettent aux opérateurs de réseau de satisfaire leurs abonnés concernant leur exigence sans cesse croissante en terme de transfert de données. Les solutions de diffusion multisupport renforcent la flexibilité système. Les applications M2M jouent déjà un rôle majeur. Le nombre toujours plus important dans le futur d'objets communicants entre eux (IoT) et les nouvelles demandes issues de certains secteurs industriels (automobile, santé, contrôle de robot, etc.) nécessiteront encore de significatives améliorations. C'est pour cela que la recherche et les prédéveloppements dans l'industrie des communications mobiles préparent déjà la 5G avec comme échéance 2020 et au-delà. Rohde & Schwarz et ses filiales SwissQual et ipoque proposent un catalogue complet de solutions pour les applications de T&M actuellement mis en oeuvre et sont activement impliquées dans les projets de R&D liés à la 5G.

Meik Kottkamp

Quelle est la contribution des solutions de T&M?
Les équipements de test et de mesure jouent un rôle central à la fois lors du lancement de nouvelles technologies que lors de l'exploitation des réseaux. Un nombre incalculable de solutions de test est nécessaire au développement et à la fabrication des équipements mobiles, des composants, des stations de base et des noeuds de commutation. Les solutions de test sont également indispensables lors du déploiement du réseau et la vérification de ses performances.

Les opérateurs réseaux doivent tout d'abord choisir les produits d'infrastructure appropriés pour exploiter leurs réseaux. En employant des instruments tels que des générateurs ainsi des analyseurs de spectres et de signaux, ils peuvent qualifier les produits d'infrastructure afin d'opter pour ceux délivrant les meilleures performances. Le GCF (Global Certification Forum) a défini une large gamme de tests prérequis pour la certification d'équipements mobiles. De nombreux opérateurs ont défini des tests complémentaires pour répondre aux exigences propres à leur réseau. Une solution de T&M telle que le testeur de communication radio large bande R&S®CMW500, émule toutes les fonctions réseau nécessaires, et vérifie si un équipement sans fil se comporte correctement (test fonctionnel des protocoles implémentés) et si la partie matérielle est implémentée de façon appropriée (par exemple la conformité de la puissance de transmission maximale spécifiée). La figure 1 présente des systèmes de test de conformité convenant à ce type d'applications tels que le R&S®TS8980.

Lors du déploiement des stations de base, des testeurs compacts sont nécessaires afin de vérifier rapidement si les exigences réglementaires sont respectées (Fig. 2). Après le déploiement, les opérateurs doivent ajuster des paramètres tels que le seuil de passage de relais, et identifier les zones non couvertes pour optimiser leur réseau et assurer les

meilleurs taux de transfert possibles. La figure 3 présente une solution de test embarquée dans un véhicule pour assurer la planification efficace du réseau mobile. QualiPoc de SwissQual implémente une application de mesure sur un smartphone du commerce. La solution de test peut être utilisée comme n'importe quelle application mobile, permettant aux opérateurs de réseau d'évaluer l'expérience utilisateur. Au coeur du réseau de l'opérateur, au sein duquel l'ensemble du flux de données est traité, il est de plus en plus important d'être capable d'analyser le trafic de données jusqu'au niveau du paquet de données. Ce qui rend possible la classification du trafic de données et l'optimisation du routage des paquets de données de service à travers le réseau. La technologie d'analyse IP de la filiale de Rohde & Schwarz ipoque fournit toutes les fonctionnalités nécessaires. De telles fonctionnalités sont également d'un grand intérêt pour le test des équipements mobiles. Implémentées sur le R&S®CMW500, les utilisateurs peuvent analyser quels flux de données IP (y compris les protocoles utilisés) un smartphone maintient seulement pour les applications tournant en tâche de fond.

Des interférences inattendues peuvent toujours survenir lors de l'exploitation de réseaux mobiles. Les outils intégrés de surveillance réseau et des solutions mobiles d'interception d'interférences sont employés pour identifier et éliminer ces interférences aussi rapidement que possible. Par exemple, le dysfonctionnement de panneaux de signalisation par néon peut créer des interférences dans la bande de réception d'une station de base et perturber tout le trafic de données dans une cellule. Sur la figure 4, un technicien utilise un récepteur de mesure mobile et une antenne directionnelle pour localiser les sources d'interférences. Actuellement, les générateurs et les analyseurs de signaux sont utilisés pour évaluer les performances des composants qui seront à même d'intégrer les futurs réseaux 5G. Ils sont indispensables compte tenu de leur flexibilité en terme de gamme de fréquences, de largeur de bande et de capacité d'analyse de transmission. Ils sont également essentiels aux systèmes de mesures utilisés pour analyser les conditions de propagation dans les nouvelles bandes de fréquences (voir prochain article). Les analyseurs de réseau multi-port joueront un rôle décisif dans l'implémentation des futures technologies d'antenne. Au final, l'influence de chaque application sur les taux de transfert, charges de signalisation et appel de courant sont en cours d'examen. Cela sera spécialement important pour les modules IoT puisqu'il doit être possible d'évaluer chaque application au niveau de la couche IP.



Fig. 1: Les opérateurs de réseau s'appuient sur les systèmes de test de protocoles et RF pour sélectionner les fournisseurs de composants sans fil qui leur conviennent. Les solutions de test s'assurent que les composants sont conformes aux spécifications de leur réseau mobile.



Fig. 2: Un équipement de T&M mobile d'un bon rapport coût performance est utilisé pour l'installation d'une station de base.



Fig. 3: Les opérateurs réseau utilisent un équipement de T&M pour analyser la performance réseau et optimiser l'expérience utilisateur.



Fig. 4: Les récepteurs de mesure mobiles intégrant des antennes directionnelles permettent aux opérateurs la surveillance opérationnelle de leurs réseaux et l'identification d'interférences.