



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

" VERS DES RADIOCOMMUNICATIONS RECONFIGURABLES ET COGNITIVES "

PARIS, LES 28 ET 29 MARS 2006

La radio cognitive dans la stratégie d'opérateur intégré de France Télécom

Emmanuelle Villebrun, Patrick Tortelier.

{ emmanuelle.villebrun, patrick.tortelier }@francetelecom.com

Résumé

Devant la multiplicité des réseaux d'accès normalisés (3gpp, IEEE) et non normalisés (Flarion) et devant la multiplicité des besoins en télécommunications des personnes (voix, données, réception de télévision) dont une classification est donnée, France Télécom veut interconnecter et faire cohabiter différentes technologies d'accès entre elles, coordonnées autour d'un seul cœur IP. La volonté d'offrir aux personnes une mobilité sans couture entre ces technologies et l'apparition des terminaux multi accès nous conduit également à vouloir étudier des scénarios inter opérateur où l'utilisation du spectre est banalisée. Ainsi, d'un côté, on souhaite intégrer tous nos réseaux ensemble, tandis que de l'autre, le contexte règlementaire, l'utilisation grandissante des bandes sans licences, et l'apparition du concept de radio cognitive nous amène à considérer un scénario plus inquiétant pour un opérateur où les terminaux auraient de plus en plus de liberté pour décider des ressources radio qu'ils utilisent. Enfin la radio cognitive offre à un opérateur des pistes pour améliorer l'efficacité de son réseau. Ceux sont les premiers résultats de cette analyse stratégique montrant comment un opérateur peut utiliser le nouveau concept de radio cognitive qui sont donnés dans cet article.

Mots clés : radio cognitive, multi réseaux d'accès, gestion du spectre, gestion des ressources radio.

1. Introduction

Radio logicielle et radio cognitive sont intimement liées, un peu comme les deux faces d'une pièce de monnaie. Le but des lignes qui suivent n'est pas de donner une description technique de ces deux sujets mais d'indiquer les raisons qui amènent à s'y intéresser, en particulier en tant qu'opérateur de télécommunications. Les fondamentaux de la radio cognitive ont été proposés fin 1999 par Joseph Mitola III [2] dans une thèse qui a montré comment lier gestion des ressources radio, représentation des connaissances (des diverses interfaces radio) et modélisation de l'environnement avec des techniques d'apprentissage puissantes. Il est d'ailleurs intéressant de remarquer que J. Mitola est à l'origine du concept de radio logicielle, et que sa thèse présuppose l'existence de terminaux mettant en œuvre cette technologie.

La révolution numérique, le développement d'Internet et des mobiles ont façonné de nouvelles habitudes et de nouveaux comportements chez les usagers. Le mobile a introduit les notions d'objet et de communication personnelle, de connectivité partout ("everywhere") et n'importe quand ("at anytime"), de simplicité et de personnalisation. Internet y a ajouté l'abolition de la distance et du temps, les hauts débits, l'accès aux contenus et l'ouverture au monde. On peut relever un certain nombre de dichotomies dans ces situations de communication et les réseaux d'accès utilisés:

- Mobilité/Nomadisme: le premier cas (mobilité-services aux mobiles) couvre la voix ou des services de données nécessitant un débit peu élevé: SMS, consultation d'horaires (trains, avions, métro..), réservations, consultation de compte bancaire, ou encore services liés à la localisation (quels commerces à proximité du lieu ou on est) et correspondent à une couverture large telle que celle offerte par les réseaux cellulaires. Le deuxième cas (nomadisme) correspond à des couvertures réduites associées à des débits élevés et une faible mobilité. Les exemples les plus

évidents sont les hotspots déployés dans les gares, aéroports, cafés.. où il est possible d'avoir accès à Internet, de télécharger musique, vidéos.. sur des terminaux qui sont plutôt des PDA ou PC portable.

- Cette première dichotomie en recouvre en fait d'autres: tout d'abord la séparation données personnelles/données non personnelles. Le courrier, l'état de son compte bancaire, ses réservations (train, hôtel, ..) sont des données personnelles, ce qui n'est pas le cas des fichiers musicaux, films, dont on partage la disposition avec un grand nombre d'autres usagers. Les mails avec pièce jointe volumineuse (fichiers word, pdf,...) sont plutôt du domaine non privé, dans le sens où on partage ces données avec tout un groupe d'utilisateurs (environnement professionnel ou personnel).
- Enfin, dans le cas du téléchargement, on peut faire la distinction entre données locales/données globales: ces données non privées peuvent être relatives à une localisation précise (la ville où on vient d'arriver par exemple) ou être plus globales (grands événements, compétitions sportives, spectacles...). Dans le premier cas on pense à des systèmes radio à couverture ponctuelle et débits élevés (infostations), alors que dans le second cas on pense à des systèmes de diffusion (DAB, DVB-H). La situation peut être plus compliquée encore si on prend en compte le besoin d'accéder à ces contenus au moment désiré (notion de consultation de contenu, opposée à celle de diffusion).

Ces différentes situations correspondent à des besoins différents en terme de débit requis, latence, taux d'erreur acceptable, nécessité ou non de retransmettre le message lorsque la correction des erreurs n'a pu être complète (pour les non temps réel comme les données sous forme de fichiers, contrairement aux services temps réel, comme la voix ou la vidéo), ces besoins peuvent justifier de changer de système radio : ces différents usages/services ont chacun des contraintes spécifiques qui sont couverts par de multiples et différentes interfaces radio qu'il faut faire coopérer.

D'autres contraintes interviennent aussi: selon que l'on se trouve en indoor (et il faut distinguer plusieurs cas: domicile, ou grands halls comme les centres commerciaux, les gares...) en outdoor (ici aussi, il faut distinguer un environnement urbain, suburbain, ou rural) le milieu de propagation a des caractéristiques différentes, en particulier en terme de "delay spread", de nombre de trajets significatifs, d'affaiblissement sur ces trajets. Certes ces changements peuvent être pris en compte par l'introduction de schémas de transmission adaptatifs comme dans l'AMR ou EDGE, mais parfois c'est tout bêtement l'absence d'infrastructure d'un système qui peut nécessiter de se rabattre sur un autre. Par exemple l'UMTS n'est pas déployé partout (du moins dans un premier temps), il faut donc se replier sur du GSM/EDGE quand on quitte la zone de couverture 3G.

Enfin, un dernier élément à prendre en compte est le terminal lui-même; selon l'état de sa batterie, il sera judicieux d'utiliser un système radio plutôt qu'un autre selon la consommation occasionnée dans le terminal ou le service demandé.

Comme, une interface unique adaptée à tous ces scénarios est aujourd'hui difficile à concevoir, on continuera de voir coexister un grand nombre de systèmes ayant des caractéristiques de portée/débit différentes: systèmes cellulaires (2G, 2.5G, 3G), WLAN (toutes les déclinaisons 802.11), UWB, DVB-H, Bluetooth,... Pour qu'un même utilisateur ait accès (de la manière la plus transparente possible) à tous ces services il faut d'une part un terminal capable de mettre en œuvre une grande variété d'interfaces radio (terminal multi modes, ou terminal SDR reconfigurable) et surtout un mécanisme de sélection du système à utiliser en fonction de plusieurs paramètres: application demandée par l'utilisateur (voix, données, streaming), de la disponibilité de ces interfaces (zones de couverture, mais aussi ressources du terminal, spectre disponible...), préférences de l'utilisateur, offres tarifaires. **C'est l'objet de la radio cognitive qu'on peut voir comme une technique qui met en adéquation besoins de services et contraintes d'environnement avec le système radio qui leur est le plus approprié.**

Grâce à la radio logicielle, un site peut également devenir, pour une bande de fréquence donnée, selon les personnes qu'il couvre, une station de base GERAN, une station UMTS, un point d'accès WiMaX ou WiFi. Le réseau en vient alors à se reconfigurer selon l'observation de la demande en services ainsi que selon l'observation de ses propres performances. La radio logicielle permettra donc non seulement le développement de la radio cognitive mais aussi celui de l'"autonomic networking".

2. Définition de la radio cognitive

➤ Contexte, travaux en cours

Tout comme la radio logicielle à laquelle elle est très liée, la radio cognitive est ce qu'il est convenu d'appeler une technologie duale, c'est-à-dire une technologie dont l'origine est militaire mais qui peut avec profit être mise en œuvre dans des systèmes civils. Le but poursuivi étant de réduire le coût de développement des systèmes de communications utilisés par les armées en mettant à profit les progrès énormes réalisés dans le domaine des communications numériques. Ainsi aux états unis les projets autour de la radio logicielle/cognitive sont souvent financés par des agences gouvernementales (ex: DARPA).

Les bandes de fréquence utilisables par les systèmes de radiocommunication sont actuellement allouées par le régulateur pour un usage prédéterminé; par exemple, les bandes IMT-2000 sont exclusivement réservées aux systèmes 3G (UMTS, CDMA2000, mais aussi DECT). Des campagnes de mesure ont été menées aux Etats-Unis,

montrant que le spectre était sous utilisé dans ce scénario d'allocation fixe. L'inflexion qu'on peut observer depuis quelques années vient de la FCC et concerne l'usage du spectre, liée d'une part à l'existence d'environ 300 MHz de spectre sans licence (bande UNII: Unlicensed National Information Infrastructure) pour lequel il faut définir des règles de coexistence entre utilisateurs qui se partagent la ressource commune et d'autre part à des propositions de solution pour permettre l'utilisation des bandes avec licences par d'autres acteurs, afin d'en améliorer l'utilisation. Les techniques proposées consistent dans ce cas en l'émission de signaux de très basse puissance et très large bande (UWB) par-dessus des signaux existants (underlay), ou l'occupation transitoire d'une portion de spectre non utilisée par son détenteur (overlay). Le réglementeur américain encourage donc des études pour évaluer la faisabilité et les performances de libéralisation du spectre en utilisant la radio cognitive. Le but à atteindre est de fournir plus de débit à l'accès par voie radio dans un spectre limité, autrement dit d'augmenter l'efficacité spectrale des réseaux d'accès.

Un opérateur qui a payé (très cher, dans le cas des licences 3G en Europe) le droit d'utiliser une bande de fréquence tient naturellement à protéger son investissement et ne voit pas d'un très bon œil l'irruption de signaux qui vont créer des interférences. Il peut cependant mettre en œuvre à son profit certaines de ces techniques d'allocation du spectre envisagées.

Cette allocation peut ainsi être rendue plus efficace par une **banalisation** de l'usage du spectre où des bandes disjointes seraient allouées à un opérateur. Libre à l'opérateur de choisir quel système pour quelle bande, cette allocation pouvant varier dans le temps. Cette banalisation du spectre est rendue plus aisée à mettre en œuvre par l'utilisation de la Radio Logicielle qui permet l'agilité en fréquence requise. Il s'agit encore d'un thème de recherche.

Au niveau Européen le projet E2R (End to End Reconfigurability), lancé en 2002, a pour but d'analyser l'utilisation et les impacts de l'introduction de la SDR sur les communications radio en général. Avec l'introduction de ces mécanismes, les réseaux d'accès radio pourront des lors adapter leurs déploiements "online" et adapter les réseaux d'accès utilisés au trafic demandé. Dans ce contexte et devant ces nouvelles possibilités, une intelligence radio et des capacités hardware supplémentaires sont nécessaires dans les terminaux et les réseaux.

Un opérateur doit également prendre en compte qu'il doit cohabiter le spectre radio avec d'autres acteurs. Aujourd'hui, de plus en plus d'objets (consoles de jeux, PDA etc...) ont une interface radio bluetooth ou 802.11 par exemple. Ces objets communicants ne portent pas aussi loin qu'un point d'accès WiFi ou une cellule GSM déployée par un opérateur, mais ils doivent opérer sans perturber dans un spectre dit sans licence et au-delà.

Enfin, une alternative possible à la radio cognitive, qu'il faudrait valider, est de vérifier si l'amélioration de l'usage du spectre peut être atteinte grâce à des évolutions des algorithmes actuels de gestion des ressources radio.

➤ Les étapes du processus 'Radio cognitive'

Comme nous le verrons de manière plus détaillée dans la suite du document, savoir si l'attribution des ressources radio est déterminée dans le réseau, dans le terminal ou de manière répartie entre les deux est un enjeu important pour l'opérateur. Cet aspect est à décorrélérer de l'intelligence radio à déployer dans notre environnement de tous les jours. La définition de la radio cognitive que nous proposons d'adapter est, en adéquation avec les travaux d'E2R, la succession de quatre processus:

- 1) **La définition de métriques et leur mesure.** Il faut choisir des grandeurs pertinentes relatives à l'environnement radio (présence ou non d'un système radio donné), qualité de ces systèmes (SNR, taux d'erreur binaire ou paquet, débit possible). Il faut aussi définir comment mesurer ces grandeurs élémentaires qui permettront les étapes suivantes. Ces mesures peuvent provenir de différents nœuds du réseau ainsi que des différentes couches de protocoles.
- 2) **L'analyse du contexte radio.** Cette analyse permet de prendre en compte les bonnes données (voie balise, puissance, d'émission, BLER) et de leur appliquer le bon traitement pour extraire l'information utile à l'algorithme de l'étape suivante. Elle n'est pas forcément faite dans le terminal comme nous l'avons montré dans l'article [3]. Joseph Mitola a de son côté proposé une analyse de l'environnement par le mobile. Le Cognitive Pilot Channel proposé dans le cadre d'E2R sera, dans le cadre du multi réseaux d'accès, avec banalisation du spectre, un précieux outil pour aider le mobile à analyser son environnement radio dans un temps acceptable sans scanner toutes les fréquences.
- 3) **L'algorithme de choix de l'attribution des ressources radio.** Cet algorithme pourra être réparti entre plusieurs nœuds. Chaque partie de cet algorithme s'exécutera là où peuvent être rassemblées ses données d'entrée. Par exemple, le calcul de la vitesse instantanée du mobile avec une bonne précision nécessitera l'analyse des variations liées au fading rapide. Ce type de mesures ne pouvant pas transiter dans le réseau, ce calcul s'effectue soit au niveau de la station de base, soit au niveau du terminal. A partir de là un algorithme utilisant cette vitesse instantanée pour émettre ou ne pas émettre devra se trouver près de la source d'information.
- 4) **Les mécanismes, architecture et protocole** permettant de mettre en œuvre les décisions des algorithmes. Aujourd'hui, dans un réseau cellulaire classique, on concentre les mesures radio dans un contrôleur qui décide de l'allocation. Par exemple, le contrôleur de handover est le RNC en UMTS. Pour le HSDPA et le scheduler (chargé

d'émettre les paquets MAC sur la voie radio à un certain rythme en fonction de l'environnement et de la demande de chaque utilisateur) il s'agit du Node B, la décision devant être beaucoup plus rapide.

Ces étapes peuvent être répétées de manière cyclique comme l'indique la figure (1). Les opérateurs, les régulateurs peuvent intervenir dans ce cycle.

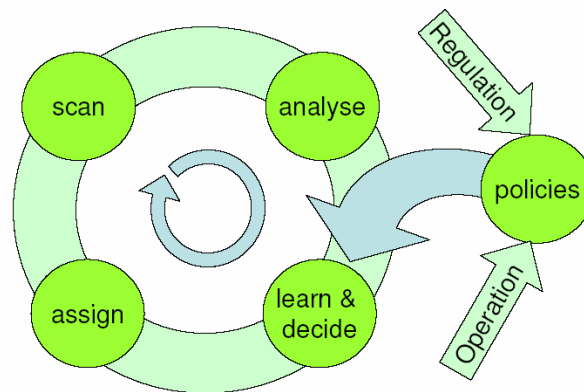


Figure 1: Les étapes de la radio cognitive, une gestion intelligente des ressources radio (source E2R)

3. La stratégie d'opérateur intégré et le concept "Always Best connected"

Les différents mécanismes de la radio cognitive, tels que nous les avons esquissés ci-dessus, peuvent être mis en œuvre de deux manières selon qu'ils sont mis en œuvre dans le réseau d'un opérateur (c'est le cas des systèmes GSM, GPRS et UMTS) ou complètement décentralisés dans les terminaux (dans le cas d'un système utilisant des bandes de fréquences sans licence :Wifi, Bluetooth, UWB). Ces deux approches sont très différentes, et sont décrites dans ce qui suit.

➤ Le point de vue de l'opérateur

Aujourd'hui, un client France Télécom possède un abonnement mobile, un abonnement internet ADSL, une ligne fixe. Selon l'usage et le service à un instant donné, il devra lui même choisir sa technologie accès. France Télécom veut rendre l'usage d'une technologie ou d'une autre transparente pour l'utilisateur. Nos clients bénéficieront de leurs services personnalisés où ils veulent et quand ils veulent. Ils seront en chaque instant "Always Best Connected", en fonction de leurs services de leurs usages, de leurs besoins. Pour cela France Télécom a besoin:

- D'une gestion centralisée des services avec une convergence fixe mobile arrivée à son terme autour d'un unique cœur de réseau tout IP;
- D'une bonne coopération des réseaux d'accès radio avec possibilité de passer de manière sans couture d'un réseau à l'autre,
- De la possibilité de gérer la qualité de service de chacun et de pouvoir partager au mieux les ressources radio et réseaux entre nos clients selon leurs besoins.

Devant la multitude des accès possibles, un opérateur historique comme France Télécom disposera de réseaux d'accès de plus en plus hétérogènes. Un des enjeux sera donc de savoir déployer un accès de la manière la plus simple possible, d'où le concept à développer aujourd'hui de réseau d'accès "plug and play" par rapport aux réseaux cœur IP mais aussi éventuellement par rapport aux autres réseaux d'accès radio. La radio cognitive pourra servir à faire coopérer des réseaux d'accès sans mettre de protocoles entre eux. Le champ d'étude est encore vaste, mais un tel concept correspondrait à un réel besoin d'opérateur intégré de réseaux et de services.

➤ Les réseaux pervasifs.

Il existe aujourd'hui de multiples appareils dotés d'une interface radio tels que les consoles de jeux portables, les PDA, qui vont de plus en plus s'organiser en réseaux pour échanger des données. Ces petits réseaux utilisent des interfaces de portée minimale pour fonctionner. A savoir, deux PDA échangeant des données de calendrier sur une bande sans licence en 802.11 (ou en Bluetooth) minimisent leurs puissances pour ne pas interférer ni les autres appareils ni les accès larges bandes opérant dans la même bande.

Ces petits réseaux peuvent vouloir se connecter à une application distante inaccessible par voie radio 802.11 ou sans l'internet. Dans ce cas, les réseaux des opérateurs assurent l'interconnexion de ces petits réseaux avec l'internet.

Il est bien évident que la gestion des ressources radio de ces WPAN/WBAN ne pourront pas forcément être faite sur un mode centralisé comme en réseaux cellulaire et ceci à cause de leur grande volatilité (appareils se connectant et se déconnectant au gré de besoins d'utilisateur très court terme et ponctuels). Dans ce cadre, pour gérer les ressources radio, des travaux reprenant les quatre composantes de la radio cognitive semblent être l'approche la plus prometteuse.

➤ La réconciliation des deux approches

Dans une première approche, la stratégie de FT est de garder une gestion des ressources radio centralisée pour les réseaux cellulaires ou large bande dont il détient une licence spectrale. Mais d'un autre côté elle est de développer une approche décentralisée pour les réseaux de type WBAN et WPAN ainsi que ceux travaillant dans les bandes sans licence. Une mise en œuvre pratique mettant en œuvre plusieurs couches de protocoles a été étudiée dans [9] et est décrite par la figure suivante:

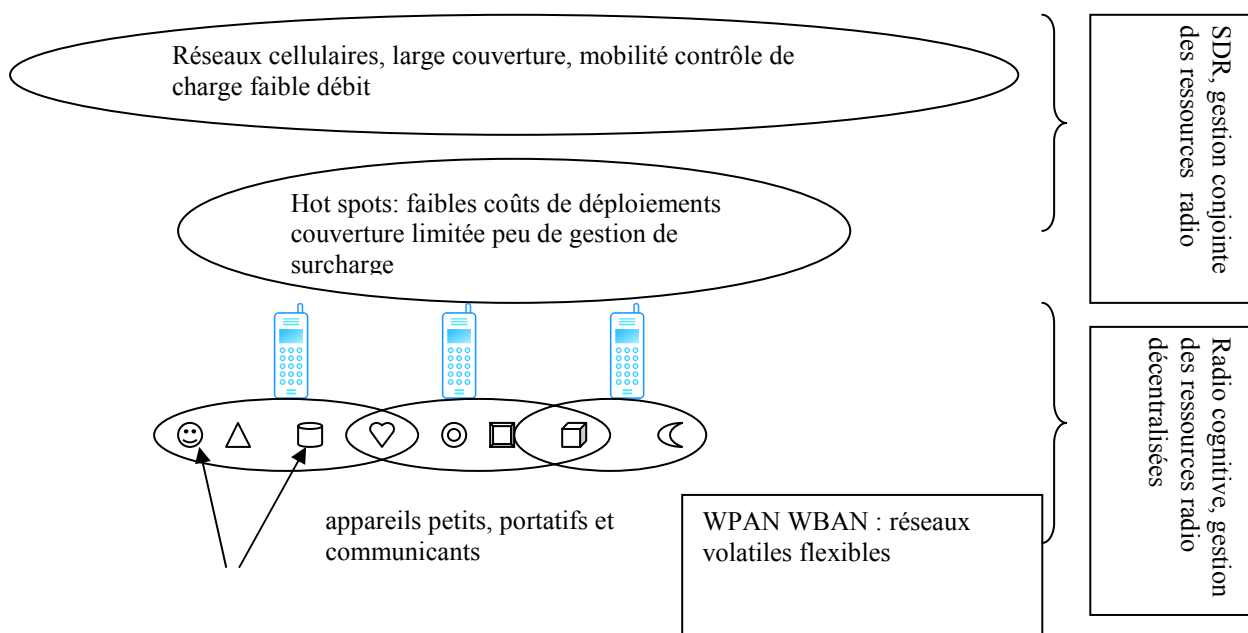


Figure 2: Architecture générale des réseaux et type de gestion des ressources radio utilisées

➤ Mise en œuvre de ce concept (Always Best Connected)

Nous avons précédemment mis en évidence la diversité des réseaux d'accès ainsi que la diversité des besoins auxquels ces réseaux répondent. Lorsqu'un terminal, un PDA, un PC un appareil quelconque s'allume et demande une connexion, en général seul son utilisateur connaît au départ le service demandé. Dans l'état des protocoles et réseaux actuels, un opérateur de télécommunications ne peut pas demander à ses clients d'exprimer directement leurs actions en termes de besoins en qualité de service ou en ressources radio. C'est donc à l'opérateur d'observer son client et de traduire ses besoins applicatifs en termes de qualité de service, de ressources radio, de ressources réseaux. Dès lors, il lui est possible à un instant donné de le ré-aiguiller ensuite sans qu'il s'en aperçoive vers le réseau répondant à un instant donné le mieux à ses besoins. Dans des réseaux plus volatiles tels que les WPAN, les réseaux courte portée pour le jeu interactif etc..., cette allocation judicieuse des ressources radio doit se faire sans le recours à une unité centrale, mais de manière négociée entre les différents intervenants et tenant compte des autres utilisateurs du spectre.

Ainsi, à chaque opération et pour chaque environnement radio, il existe une connexion optimale fournie sur un réseau donné. Dans cette approche, on peut même encore aller plus loin. Pour chaque flux de données, il existe une connexion optimale. Un client peut donc avoir plusieurs flux simultanés, chaque flux étant écoulé sur un réseau différent. Il existe également une autre approche développée dans le projet Ambient Networks et dans [11]: il s'agit de partager les paquets d'un même flux sur plusieurs connexions radio de manière à augmenter le débit et, à chaque instant, en suivant les variations du canal, d'avoir la meilleure connexion. **Ainsi, l'utilisateur a toujours les meilleures connexions répondant à ses besoins.**

4. Architecture et décision d'allocation des ressources radio : un enjeu fort pour l'avenir

Le paragraphe précédent reflétait le point de vue d'un opérateur cherchant à concilier les deux aspects (centralisé/décentralisé) de la mobilité inter systèmes qui est à la base de la radio cognitive. On décrit maintenant un autre scénario plus inquiétant et rendu possible par la radio cognitive. Ce point de vue correspond en effet à un affaiblissement du lien entre un opérateur et son client. En effet ce dernier aurait la possibilité de choisir, à tout moment, l'offre concurrente la plus avantageuse en termes de tarif et qualité de service.

➤ Le handover inter opérateur et les décisions d'allocation du spectre dans les terminaux ou les objets communicants

Comme l'a montré Joseph Mitola III dans [2], le terminal mobile pourrait rechercher les meilleurs réseaux au meilleur coût, faisant jouer au maximum la concurrence entre opérateurs. Cela suppose de mettre non seulement de l'intelligence dans le terminal mais aussi de lui donner un pouvoir non négligeable de décision. Les terminaux pourraient ainsi, en particulier avec l'aide de la radio logicielle prendre plus de ressources spectrales de manière à offrir à leur propriétaire une qualité de service supérieure, au besoin au détriment des autres utilisateurs du spectre. Pour éviter cela des procédures de sécurité, de certification et de contrôle à la ressource doivent être mises en place.

On peut prévoir un contrôle mutuel ou une normalisation forte des procédures internes du mobile avec des langages standardisés convenables comme proposé dans [8]. Ceci nécessitera des procédures de certification et de contrôle supplémentaires difficiles à mettre en place. En effet, les terminaux d'aujourd'hui, dans leur implémentation interne ne suivent pas toujours la norme et un des principes de la normalisation est de standardiser les interfaces de communication et non le fonctionnement interne des équipements. La nécessité d'éventuellement revenir sur ce consensus doit être étudiée avec soin.

➤ Le handover intra opérateur

En GSM, lorsqu'on ne faisait que des services voix, on utilisait des informations radio pour déclencher un handover en quelques secondes. Aujourd'hui, on peut définir un handover vertical sur critère de qualité de service applicative. La décision de handover doit donc prendre en compte des mesures du niveau 1 et des événements des couches supérieures, applicatives en particulier, 3 et au dessus.

Le terminal connaît le mieux son environnement radio sur le sens descendant : stations et systèmes reçus, effets de propagation, d'évanouissement, etc. Pour le lien montant, les informations sont également présentes dans la station de base et donc dans le réseau d'accès, mais restent très proches de la voie radio. Au niveau applicatif les mesures permettant la décision de handover sont déjà plus réparties entre le terminal le réseau d'accès et le réseau cœur.

Le processus de décision d'allocation des ressources radio doit incorporer des éléments venant du lien radio, aussi bien de la couche physique que du niveau 2 (MAC). Les éléments venant des couches plus hautes et des couches applicatives peuvent venir de beaucoup plus loin dans le réseau (serveurs routeurs physiquement n'importe où dans le monde...) Le point de décision de l'allocation des ressources radio doit être choisi de façon à :

- 1) avoir une bonne réactivité par rapport aux stimuli devant impliquer un changement d'allocation ou un changement de réseau (handover inter système). En première approche, on peut considérer qu'il faut répondre rapidement par un handover à une dégradation de la couverture due à l'éloignement ou à une dégradation de la qualité de service due à des interférences. En effet, il y a, à ce moment précis risque immédiat de perte de la communication. Par contre, si on constate des ressources sous ou sur dimensionnées par rapport au service, il n'y a pas de risque immédiat de coupure et, le système dispose d'un peu plus de temps pour renégocier entre le terminal, le réseau d'accès et le réseau cœur les ressources à allouer au terminal et éventuellement à chacun de ses flux de données.
- 2) Minimiser le transit des mesures dans le réseau. Des solutions existent aujourd'hui permettant de positionner dans le réseau IP un serveur de mobilité permettant de gérer le handover. Mettre ce serveur de mobilité dans l'IP et non dans le réseau d'accès a permis de développer rapidement des gestionnaires de mobilité inter système. Cependant, on ne peut pas envisager de laisser ces serveurs de mobilités dans le réseau cœur. En effet, n'oublions pas d'une part que des mesures radio remontent à des intervalles de quelques centaines de millisecondes pour le sens montant et pour le sens descendant, et d'autre part que chaque système fonctionnant différemment a ses propres mesures. Les mesures de QoS de bout en bout pourront également venir de très loin dans le réseau. Il est également possible d'envisager plusieurs points de collecte des mesures et une négociation de QoS entre ces points. Chaque point garantit ensuite d'allouer les ressources garantissant au mieux la QoS.

En fonction de ces différents éléments, on peut reprendre l'architecture des réseaux cellulaires, à savoir concentrer via des remontées de mesures toutes les données en un point tant que ces données ne sont pas trop volumineuses. Si ces données commencent à être trop fines, il faut alors que le nœud de réseau où elles se trouvent fasse un pré traitement prenant ou orientant la décision.

➤ En résumé

- Le réseau doit faire des arbitrages pour gérer un grand nombre de terminaux, en fonction de données à différentes échelles de temps, très courtes pour le "packet scheduling", plus longues pour le handover, encore un peu plus longues pour la négociation de services (en première analyse). Les données sont distribuées dans les différents nœuds du réseau. Dès qu'on les transporte dans un protocole, on perd une partie de l'information.
- Si le terminal décide, alors il faut un contrôle fort de sa radio qui sera de plus en plus difficile avec la radio logicielle.

- Ainsi, les décisions doivent être laissées au terminal lorsque cela apporte une réelle plus value, c'est-à-dire si celui-ci dispose d'éléments supplémentaires par rapport au réseau et s'il agit en bonne coopération avec les autres utilisateurs du spectre.

5. D'autres utilisations de la radio cognitive?

➤ Une gestion des ressources radio adaptée aux échelles de temps et d'espace

Nous avons vu plus haut que dans certains réseaux très volatiles, la gestion des ressources radio ne peut pas être centralisée. D'autre part, certains algorithmes de scheduling des paquets se trouvant dans la couche MAC sont opportunistes et considèrent les conditions radio de manière très court terme pour émettre. Dans ce contexte, on applique une observation instantanée suivie d'une décision rapide d'émission des paquets. Les travaux développés dans le cadre de la radio cognitive pourront répondre à des besoins de gestion des ressources radio pour de petits espaces et de petites échelles de temps.

Au sein de France Télécom R&D, des travaux sont menés sur ce thème, dans le cadre du HSDPA par exemple, dans des thèses sur les algorithmes de handover et dans des travaux sur le multihoming.

➤ La radio cognitive: la coopération entre réseaux sans échanges de protocoles

L'article "Reactive Cognitive Radio Algorithms for Co-Existence Between 802.11a and 802.16a networks" écrit conjointement par Nortel et le Winlab montre la faisabilité d'une gestion des ressources radio intersystème utilisant au maximum les trois premières étapes de la radio cognitive (observation, analyse, décision) en minimisant la quatrième étape qui consiste à mettre en œuvre des protocoles lourds d'échanges de données et de négociations. Dans cet article, deux systèmes sont considérés opérants dans des bandes de fréquences différentes mais non disjointes, autrement dit qui se chevauchent. Trois techniques sont utilisées:

- o **La sélection dynamique de fréquence :** les points d'accès 802.11 se reconfigurent périodiquement pour utiliser la fréquence la moins interférée. Si ce seul mécanisme est utilisé le trafic 802.11 se concentre dans les bandes ou seul le 802.11 est autorisé à opérer, laissant automatiquement la place lorsque c'est nécessaire au trafic 802.16.
- o **Le contrôle de puissance :** un contrôle de puissance très court terme est mis en œuvre de manière à demander à l'émetteur de transmettre à la puissance minimale permettant d'avoir la bonne qualité de service. On reprend ainsi le principe général d'un contrôle de puissance rapide permettant de suivre les variations du fading rapide. Ce principe ressemble à celui mis en œuvre dans le CDMA, avec une implémentation et un fonctionnement différents.
- o **Le Time agility :** Ici, c'est le niveau MAC qui choisit d'émettre un paquet à un moment où les conditions de rapport signal à bruit sont favorables.

Ces procédés, certes déjà connus, utilisés conjointement permettent d'améliorer le débit lorsque ces deux systèmes sont utilisés sur la même zone géographique (802.16a en couverture large, 802.11 en hot spot) et montrent qu'il est possible de faire coopérer des systèmes sans échanges lourds de protocoles avec des performances données. Ceci peut permettre une coopération de réseaux inter-opérateurs et doit permettre de faire coopérer différents systèmes utilisant des bandes se chevauchant.

Pour un opérateur tel que France Télécom, la radio cognitive vue sous cet angle offre de bonnes opportunités pour déployer des réseaux différents correspondant à différents besoins en allouant automatiquement du spectre et des ressources radio au système sur lequel le trafic est demandé. Prolonger ces mécanismes de manière à prendre en compte des contraintes de qualité de service serait une piste intéressante.

6. Conclusion

La multiplicité des réseaux radio conduit un opérateur historique comme France Télécom équipé de plusieurs types d'accès à vouloir d'une part rentabiliser ses accès existants pour offrir des services connus et d'autre part à vouloir utiliser au mieux les nouveaux accès proposés. La préoccupation de France Télécom est d'avoir une interconnexion simplifiée de ces accès avec son réseau cœur ainsi qu'une capacité de tous ces réseaux à coopérer entre eux.

C'est dans ce cadre que France Télécom regarde avec attention et participe aux recherches menées sur la radio cognitive. Certes, dans un premier temps ce concept semblait remettre en question le principe déjà éprouvé d'une gestion très centralisée par l'opérateur des ressources radio. Si on considère l'arrivée des bandes sans licences et le contexte de libéralisation du spectre aujourd'hui en pleine expansion, cette remise en cause n'a rien de surprenant. Cependant, une approche où la prise de décision serait entièrement donnée ne présente pas des garanties de résultat satisfaisant pour l'utilisateur et est porteuse d'instabilité dans les réseaux.

La radio cognitive telle qu'elle est maintenant définie doit faire intervenir des technologies plus puissantes pour la métrologie: quelles mesures utiliser? Où et comment collecter ces mesures, quels traitements avancés leur appliquer, et à quelle échelle de temps? Elle doit utiliser des algorithmes plus intelligents que des algorithmes à seuils, actuellement utilisés par exemple pour les handovers. La radio cognitive, basée sur une observation mutuelle bien gérée pourra à

terme éviter des protocoles et infrastructures lourds à gérer, avec un intérêt bien sûr dans les cas inter opérateur, mais aussi dans les cas intra opérateur pour limiter le coût de développement des protocoles.

Ces études ne doivent pas avoir d'a priori sur le lieu de la décision, du moment qu'on assure que tous les terminaux se comportent de manière cohérente sur les réseaux d'un opérateur, mais aussi sur les bandes sans licences.

7. Remerciements:

Les auteurs tiennent à remercier Jean-François Leclercq (FTRD/DSPI) pour sa relecture attentive et ses conseils tant sur le fond que sur la forme de cet article.

8. References

- [1] J. Mittola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," Proc. MoMuC'99, pp.3-10, November 1999.
- [2] J. Mittola III, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio.
- [3] Wavelet analysis for velocity characterization in mobile networks, Salah El Ayoubi, Afef Ben Hadj Alaya, Emmanuelle Villebrun, Benoît Fourestié
- [4] Cognitive Pilot Channel, WWRF 15, 7-8 dec 2006, Pascal Cordier and al (E2R CPC task force)
- [5] Common Pilot Channel for Network Selection, Paul Houze, Sana Ben Jemaa, Pascal Cordier, VTC Spring 2006
- [6] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain Empowered-Wireless Communications", , IEEE Journal on selected area in communications, vol.23 february 2005
- [7] R. W Brodersen et al., "Corvus: A Cognitive Radio Approach for Usage of Virtual Unlicensed Spectrum", White Paper, july 2004.
- [8] S. Mangold, A. Jarosch and C. Monney, "Cognitive radio-Trends and Research challenges", , Comtec 03/05
- [9] A spectrum etiquette protocol for efficient coordination of radio devices in unlicensed bands Raychaudhuri, D.; Xiangpeng Jing, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2003. PIMRC 2003. 14th IEEE Proceedings on
- [10] Reactive cognitive radio algorithms for Co-existence between IEEE 802.11b and 802.16a networks Xiangpeng Jing; Siun-Chuon Mau; Raychaudhuri, D.; Matyas, R.; Global Telecommunications Conference, 2005. GLOBECOM '05. IEEE
- [11] A Novel Mechanism for Data Streaming Across Multiple IP Links for Improving Throughputs and Reliability in Mobile Environments, D.S.Phatak, Tom Goff