

Chapitre 4

Une plate-forme radio logicielle

UMTS-TDD

4.1. Introduction

Ce chapitre décrit une réalisation concrète de système radio mobile reconfigurable, fondé sur une plate-forme radio logicielle UMTS-TDD¹.

Pourquoi développer de telles plate-formes radio, temps réel, reconfigurables ? D'une part l'utilisation d'une technologie de radio logicielle permet de conserver des coûts d'équipements raisonnables, car principalement basés sur des équipements peu chers tels que des micro-ordinateurs PC. D'autre part, cela fournit un moyen idéal pour mener des expérimentations en vraie grandeur d'un système radio mobile. Enfin, ces plate-formes sont utilisées pour valider des avancées théoriques, que ce soit en traitement du signal, en stratégie d'allocation de ressources ou dans le domaine des réseaux, en particulier dans le domaine très prometteur des réseaux sans fil post 3G (Beyond-3G ou B3G en anglais). On peut citer par exemple :

¹ Cette plate-forme a été réalisée pas l'équipe Communications Mobiles de l'Institut Eurecom, notamment, Christian Bonnet, Hervé Callewaert, Lionel Gauthier, Raymond Knopp, Pascal Mayani, Aawatif Menouni Hayar, Dominique Nussbaum, Michelle Wetterwald.

- la gestion, basée sur le protocole IPv6, des ressources radio dans des réseaux sans fil hétérogènes comprenant plusieurs types de technologies d'accès (WLAN, UMTS),
- les technologies d'antennes intelligentes (smart-antenna),
- l'allocation et l'ordonnancement des ressources radio,
- la gestion de la Qualité de Service (QoS).

Les développements présentés dans ce chapitre, et par ailleurs mis à la disposition de la communauté des chercheurs sur le site Internet [EURE], sont fondés sur la convergence de trois tendances technologiques :

1. standards radio collaboratifs : 3GPP [3GPP], IEEE 802.x [IEEE]
2. technologie Internet nouvelle génération pour les mobiles - IPv6 [IP], Mobile IP [MIP], SIP [SIP]
3. logiciels et systèmes d'exploitation libres – Linux [LIN], RTLinux [RTL], RTAI [RTAI]

La mise à disposition d'un logiciel conforme à la version 4 du standard UMTS-TDD (du moins pour la partie accès radio du standard), sous une licence GNU General Public License (GPL), permet de promouvoir la collaboration universitaire dans le secteur des systèmes ouverts B3G. Ce logiciel peut être utilisé de façon autonome (non temps réel) ou avec des équipements Radio Fréquence RF (temps réel) disponibles eux aussi à partir du site Web [EURE]. Nous espérons ainsi que cette politique d'ouverture aboutira à de nouveaux projets collaboratifs basés sur nos plate-formes présentes et futures.

Celles-ci sont ou ont été utilisées par plusieurs projets. Les projets français sont financés par le Ministère Français délégué à la Recherche sous le label du RNRT [RNRT], à savoir SAMU, PLATON, ERMITAGES, @IRS++, RHODOS, LAOTSEU, COSINUS. Au niveau européen, une plate-forme UMTS-TDD/IPv6 a fait partie du projet IST Moby Dick [MOB] (cinquième programme cadre), qui proposait des méthodes innovantes pour l'interconnexion directe d'une interface radio 3GPP avec un coeur de réseau Pv6. Elle est maintenant utilisée par des projets du programme cadre suivant (FP6), dont WIDENS, DAIDALOS et E2R [IST].

Conséquence de ces projets collaboratifs, plusieurs réseaux expérimentaux B3G ont été ou sont en cours de déploiement, notamment en Allemagne (Université de Stuttgart) et en France, à Sophia Antipolis (Institut Eurecom) et à Paris (Centre de Recherche Motorola). Dans ces différents sites, des bandes de fréquence UMTS-TDD ont été attribuées aux activités de recherche liées à ces projets.

Ce chapitre décrit les différents éléments de la plate-forme radio logicielle et leurs fonctionnalités. Le paragraphe suivant traite des différents éléments matériels

(Radio Fréquence et acquisition) réalisés pour les passerelles radio (stations de base) et pour les terminaux utilisateurs reconfigurables. Nous décrivons ensuite les technologies logicielles mises en œuvre dans ces plate-formes (systèmes d'exploitation temps réel, programmation du traitement du signal, environnement de simulation et réalisation logicielle libre des protocoles radio). Finalement, nous expliquons comment les innovations dans les protocoles de réseau sans fil ont permis l'expérimentation d'une infrastructure hétérogène pur-IPv6, ainsi que des capacités de reconfigurabilité de la plate-forme.

4.2. Architecture matérielle

4.2.1. Les Passerelles Radio

L'équipement radio actuel est conçu pour fonctionner dans un mode de Multiplexage Temporel ou Time Division Duplex (TDD) dans un canal de 5 MHz de bande passante. Il opère dans toutes les bandes TDD du spectre IMT-2000 comprises entre 1900-1920 MHz, mais d'autres bandes de fréquence peuvent éventuellement être supportées si nécessaire.

Les stations de base, appelées Passerelles Radio ou Radio Gateways (RG), peuvent être configurées dans l'une des deux catégories de puissance suivantes:

- pico-BTS de faible puissance (25 dBm /antenne, -40 dBc ACLR, 7 dB de figure de bruit).
- micro-BTS de haute puissance (34 dBm/antenne, -45 dBc ACLR, 5 dB de figure de bruit).

Ces deux configurations comprennent un module radio fréquence (RF) et une carte d'acquisition PCI par antenne. La configuration haute puissance nécessite de plus un amplificateur de puissance frontal et un amplificateur faible bruit. Elles peuvent être équipées d'une ou plusieurs antennes afin de bénéficier de fonctionnalités de spatialisation.

Le module RF de base pour les RGs a été conçu conjointement avec Philips Semiconductors à Sophia Antipolis et se présente sous la forme d'un boîtier 19 pouces (similaire à un commutateur Ethernet). Les fonctions d'émission sont assimilables à celles d'un générateur de signal numérique de haut de gamme (échantillonnage 14 bits). Il apporte en plus la possibilité d'une exécution en temps réel lorsqu'il est contrôlé par un PC opérant sous RT-Linux. Un oscillateur local réglable numériquement exécute une conversion montante vers la fréquence de 1,9 GHz. Le contrôle numérique permet aussi d'obtenir plusieurs niveaux de gain. Les capacités de réception sont sensiblement comparables à celles d'un bon analyseur de

signal (échantillonnage 14-bit), ici aussi avec la capacité supplémentaire d'une exécution en temps réel. Des horloges d'échantillonnage peuvent être synthétisées sur la carte ou obtenues de l'extérieur. Ce module est représenté avec ses fonctions d'entrée/sortie sur la figure 4.1.

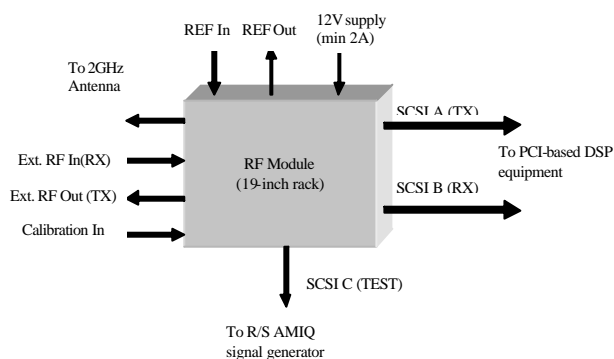
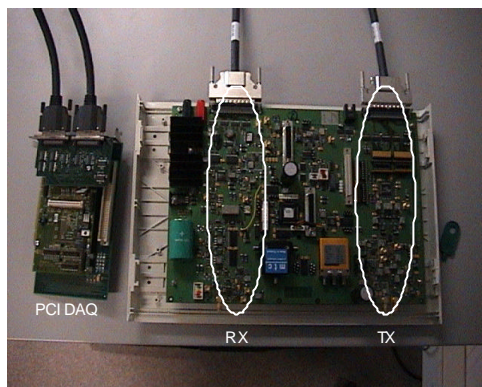


Figure 4.1. Module RF élémentaire

Le module a été conçu en vue d'obtenir une flexibilité et une reconfigurabilité maximales. Il permet un fonctionnement autonome soit avec une antenne à 2 GHz, soit avec un module externe haute puissance et faible bruit connecté par des câbles à faible perte aux ports d'entrée/sortie (I/O) RF externes. Ces configurations sont montrées sur la figure 4.2. Ce module permet aussi un fonctionnement avec plusieurs antennes et des horloges synchronisées, grâce aux mêmes ports I/O RF. L'alimentation est fournie par un générateur de puissance 12V standard (2A minimum). Le module RF peut donc être branché sur une batterie de voiture pour tester le terminal dans un environnement de forte mobilité.

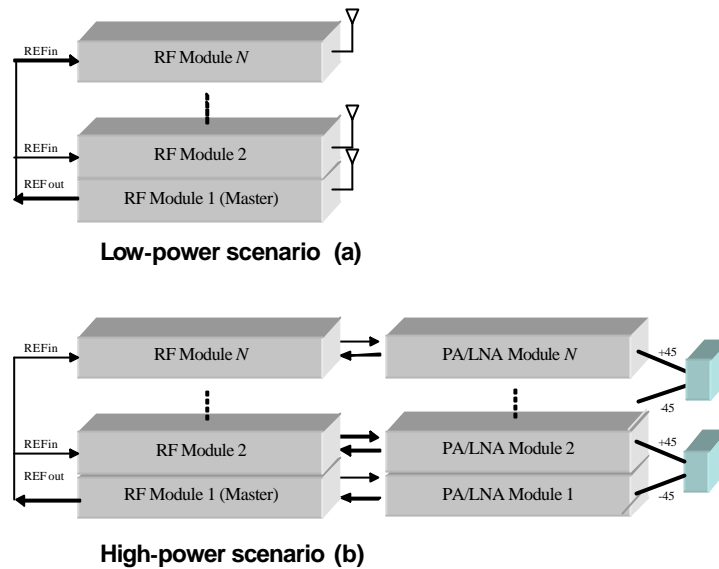


Figure 4.2. Configurations multi antennes basse ou haute puissance

Le photos de la figure 4.3 illustrent deux exemples de déploiement de passerelles radio. La photo de gauche montre une pico-BTS réalisée à partir d'un PC et d'un module RF relié à une seule antenne. Cette configuration est particulièrement adaptée à une démonstration en environnement intérieur, où les niveaux de puissance émise sont assez faibles. La photo de droite illustre une configuration en environnement extérieur. Nous y voyons une antenne installée sur le toit du bâtiment et reliée à un module d'amplification haute puissance-faible bruit (PA/LNA), entouré. La Passerelle Radio et le module RF ne sont pas visibles car situés dans le bureau sous l'antenne.



Figure 4.3. Exemples de déploiement de passerelles radio

L'acquisition/génération du signal numérique est fournie par une carte spécifique connectée sur le bus PCI (Peripheral Component Interconnect) d'un micro-ordinateur. Elle contient un FPGA (Field Programmable Gate-Array) ainsi qu'un contrôleur de bus PCI traditionnel. Des câbles ultra-SCSI standards fournissent la connectivité avec les modules RF. Le FPGA est utilisé uniquement pour l'acquisition du signal, tout le traitement du signal est ensuite exécuté par des fonctions logicielles dans le PC.

4.2.2. Les Equipements Terminaux

Le même équipement RF peut aussi être utilisé pour les terminaux utilisateurs après une simple modification dans le logiciel associé. Une nouvelle génération de modules RF, adaptée aux terminaux mobiles, est en cours de développement, fondée sur des FPGA de génération plus récente et permettant à la fois l'acquisition/génération et le traitement frontal du signal (filtrage, DFT, re-échantillonnage). Ces modules fournissent aussi une interface CardBus pour les ordinateurs portables, les Panel-PCs ou les PCs intégrés. La partie RF comprend un émetteur-récepteur 1,9 GHz ainsi qu'un système frontal modulable à large bande (3-6 GHz). Elle peut fonctionner avec une ou deux antennes au choix.

Cet équipement est réalisé dans le cadre de projets de recherche sur les réseaux ad'hoc destinés aux communications des organismes de Sécurité Publique (pompiers, ...). Il apportera ainsi à la fois l'agilité spectrale et la reconfigurabilité tout en restant dans un petit format. Un prototype est montré sur la figure 4.4.

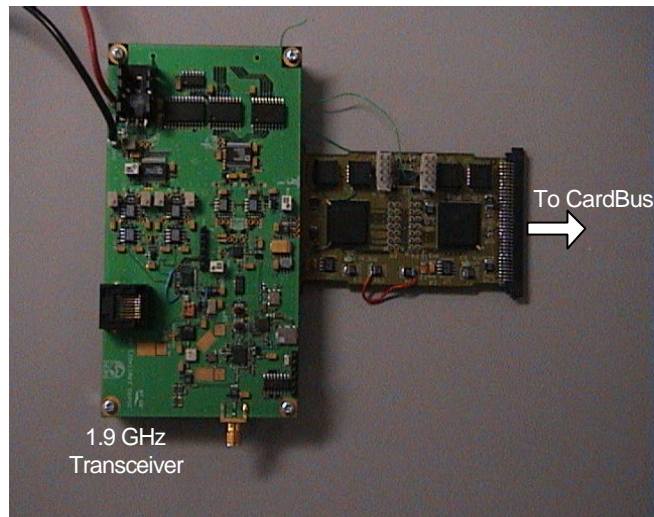


Figure 4.4. Prototype pour terminal reconfigurable

1.2.3. Emulation RF

Dans le but de développer et tester les protocoles d'accès radio et de réseaux en temps réel, sans nécessairement déployer une vraie transmission en fréquence porteuse, il est possible d'utiliser un environnement d'émulation RF câblé fonctionnant en fréquence intermédiaire (70 MHz). Cet émulateur apporte toutes les fonctionnalités du temps réel en s'affranchissant des problèmes potentiels liés au déploiement d'un réseau réel (problèmes de propagation, d'interférences, ...) et au sous-système RF (obtention d'une licence, ...). Cet équipement rassemble dans un même châssis quatre cartes de conversion analogique/numérique qui correspondent à quatre modules RF sans la partie radio. Chaque carte peut être reliée à une carte d'acquisition PCI de la même manière que dans le système radio complet, celle-ci correspondant au point d'entrée dans le micro-ordinateur PC.. Plusieurs configurations peuvent donc être réalisées (par exemple, 2 RGs et 2 terminaux ou 1 RG et 3 terminaux, etc...).

4.3. Architecture logicielle

4.3.1. RT-Linux

Le logiciel temps réel tourne sous un système d'exploitation libre RT-Linux mis au point par les FSMLabs [RTL]. Il permet une exécution en temps réel. Comme Linux est riche en fonctionnalités de réseau innovantes telles que IPv6, Mobile IPv6, routage, vidéo-transmissions, il fournit une plate-forme idéale pour développer des équipements de réseau B3G expérimentaux.

RTLlinux [RTL] est une extension du système d'exploitation Linux qui supporte des gestionnaires d'interruption et des tâches périodiques temps réel, avec des temps de latence sur les interruptions et une gigue d'ordonnancement proches des limites du matériel. Au pire, le temps de latence d'une interruption sur un PC standard est inférieur à 15 microsecondes à partir du moment où l'interruption matérielle a été déclenchée.

Comment fonctionne RT-Linux? L'idée fondamentale est d'avoir remplacé le code qui active/désactive les interruptions matérielles par du code qui active/désactive des interruptions logicielles. Ces interruptions sont alors toutes gérées par le micronoyau temps réel RT-Linux. Du fait de cette séparation, Linux ne peut pas désactiver les interruptions des tâches temps réel qui restent sous le contrôle de RT-Linux. Les pilotes des périphériques de Linux fonctionnent alors de leur manière habituelle, à condition qu'ils aient été écrits proprement, et n'exercent aucune influence sur le traitement temps réel géré par RT-Linux. On peut alors inclure dans le système des tâches purement temps réel en garantissant leurs performances, et ceci sans impacter les tâches normales de Linux (hors vitesse d'exécution).

Bien qu'il ne soit pas strictement conforme à POSIX (Portable Operating System for Computer Environment; norme UNIX de l'IEEE qui spécifie le noyau du système), RT-Linux fournit une interface de ce type, à savoir :

- une bibliothèque de tâches (pthreads),
- des ordonnanceurs,
- la gestion des interruptions externes,
- des fonctions SMP (symmetrical multi-processing ou multi-processeur symétriques).

Les couches de protocole radio décrites ci-dessous ainsi que des pilotes de périphériques spécialisés pour les équipements RF de la plate-forme ont été développés dans cet environnement.

4.3.2. Modes de programmation du processeur

Le logiciel est écrit essentiellement pour le compilateur C GNU gcc, mais certains algorithmes de traitement du signal utilisent directement les instructions Intel SIMD point fixe et point flottant (MMX, SSE, SSE2) dans le but d'obtenir le maximum d'efficacité avec les processeurs Intel Pentium utilisés. D'autres fonctions de codage ont été écrites en utilisant le compilateur libre Intel C pour Pentium 4 [INTEL]. Le logiciel comprend aussi des fonctions de traitement du signal optimisées pour les modems UMTS, comme du filtrage adapté, du filtrage de mise en forme, une estimation de canal à base de FFT (Transformée de Fourier Rapide) et des décodeurs de canal Viterbi et Turbo-code.

4.3.3. Logiciel de simulation RF

Des canaux de propagation en temps discret ont été modélisés, permettant d'utiliser en simulation le même code source que le logiciel temps réel, ce qui donne la possibilité de tester rapidement de nouveaux algorithmes sur les différents protocoles.

Ce mode de simulation est conçu pour opérer avec un réseau de PCs, bien qu'une seule machine suffise dans la configuration minimale. Le mode de fonctionnement idéal serait la mise en grappe d'ordinateurs PC sous Linux. La compilation, soit pour l'environnement de simulation, soit pour une exécution temps réel, est contrôlée par une simple directive du fichier "Makefile". Dans le cas de l'environnement de simulation, le code spécifique à l'équipement RF n'est pas utilisé. Le logiciel est alors exécuté dans l'espace utilisateur plutôt que dans l'espace noyau, tout en conservant la même structure multi-tâches que le code temps réel. Des signaux sont échangés entre un ensemble de RGs (potentiellement sur différentes machines) et un ensemble de terminaux (également sur différentes machines). L'échange est exécuté grâce à une interface socket client/serveur TCP/IP et à une troisième entité qui contrôle le flux du signal, que nous appelons un Serveur de Canal (Channel Server). Cette architecture est montrée sur la figure 4.5. Le Serveur de Canal est un processus multi-tâches, fonctionnant typiquement sur une machine puissante. Il simule la partie RF du réseau radio et transfère les signaux numériques entre les entités de ce réseau. Les sockets TCP/IP interfacent directement les couches basses de la pile de protocoles radio, celles qui communiquent avec le sous-système matériel lors de l'exécution temps réel. Chaque tâche du Serveur de Canal contrôle les signaux émanant ou parvenant à une antenne du réseau. Chaque nœud du réseau, soit RG, soit MT, peut comporter plusieurs antennes (représentées par plusieurs connexions entre les nœuds et le Serveur de Canal sur la figure 4.5), afin de simuler une fonctionnalité de traitement espace-temps. Le Serveur de Canal nécessite certaines informations de configuration : les positions des nœuds dans le réseau, les

paramètres de la perte en ligne et du modèle d'évanouissement, ainsi que les niveaux de puissance d'émission à simuler.

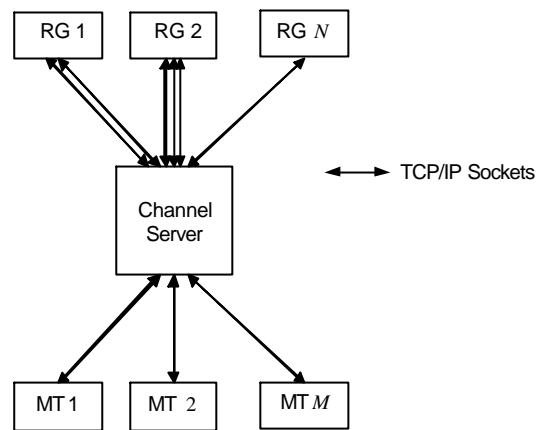


Figure 4.5. Environnement de simulation RF

4.4. Connexion au réseau IPv6

4.4.1. Architecture « pur-IPv6 »

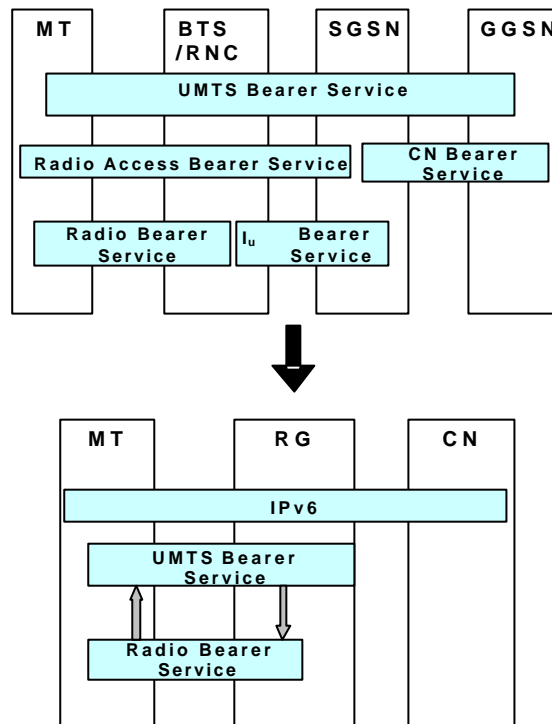


Figure 4.6. Evolution des entités UMTS vers un réseau pur-IPv6

La figure 4.6 montre l'évolution des entités du réseau UMTS vers une architecture fondée sur un cœur de réseau IPv6. Nous pouvons voir sur cette figure qu'amener IP jusqu'au RG a un impact important sur l'architecture globale du réseau. En effet, nous court-circuitons un certain nombre d'entités du réseau UMTS (RNC/SGSN/GGSN), ce qui a pour conséquence une diminution notable du nombre de services supports. Un service support permet la provision par contrat d'une Qualité de Service grâce aux services des couches de protocole sous-jacentes

L'interface de niveau radio entre le Terminal Mobile (MT) et le RG reste inchangée car elle définit la configuration de l'Access Stratum pour ce service. Le

service correspondant à l'interface de niveau UMTS est également nécessaire à priori pour permettre la correspondance entre le sous-système UMTS et le monde IP. En revanche, les autres services sont omis dans l'architecture proposée car les interfaces correspondantes n'existent plus. Le système se trouve donc très nettement simplifié.

4.4.2. Protocoles Radio

L'interconnexion directe entre l'UMTS-TDD et IPv6 est réalisée grâce à la pile protocolaire représentée sur la figure 4.7 et adaptée de [23.060].

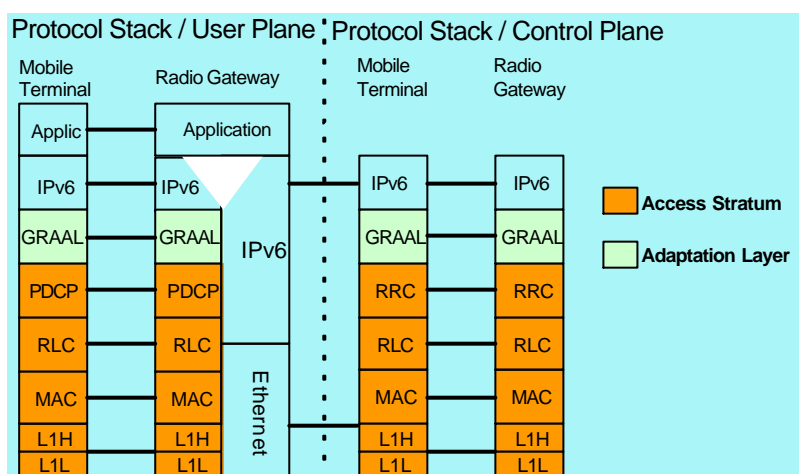


Figure 4.7. Pile de protocoles modifiée

La couche physique est divisée en deux sous-couches, la sous-couche L1L (PHY-Low) et la sous-couche L1H (PHY-High). La sous-couche L1L interface directement la carte d'acquisition et réalise le traitement du signal de premier niveau (filtrage adapté, filtrage de mise en forme, estimation de canal, synchronisation). Elle s'exécute à chaque intervalle (ou slot, 666 μ s dans le cas de modems 3GPP). La sous-couche L1H réalise le codage/décodage canal et l'entrelacement. Elle s'exécute à chaque trame (10 ms dans le cas de modems 3GPP). La couche 2 contient les couches de contrôle MAC (Medium Access Control) et RLC (Radio Link Control), qui sont responsables de l'ordonnancement des PDUs (Packet Data Units) sur les canaux de transport, de la segmentation des paquets et des protocoles de retransmission. Elle est complétée par la couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol), point d'accès pour le trafic des données vers la couche RLC. Elle s'exécute aussi à chaque trame. La réalisation des couches 1 et 2 est conforme aux

spécifications du 3GPP, à l'exception de quelques canaux de transport qui ne sont pas mis en oeuvre.

La couche de protocole de niveau 3 de la plate-forme radio logicielle ne suit pas exactement les standards du 3GPP, car elle fournit l'interconnexion directe avec un réseau de type IPv4/IPv6. Elle comprend une fonction de contrôle (RRC - Radio Resource Control) qui offre une interface permettant d'initialiser et de relâcher les canaux radio chargés de transporter la signalisation et les données, et une couche d'abstraction (GRAAL - «Generic Radio Access Abstraction Layer») qui fournit l'interface et l'adaptation entre les mécanismes IPv6 de signalisation et de trafic utilisateur et les mécanismes spécifiques de l'accès radio du 3GPP pour le support des fonctionnalités de mobilité, d'admission d'appel, etc...

La Passerelle Radio (ou RG) ne limite pas sa fonctionnalité à celle d'un Node-B (ou station de base), lequel ne fournit que la couche physique de l'Access Stratum et une partie de la couche MAC. Les autres couches (MAC, RLC, et supérieures) sont habituellement hébergées dans le RNC (Radio Network Controller). Le RG tel que nous le définissons est représenté sur la figure 4.7. On peut donc le considérer comme le résultat de l'addition d'un Node-B et d'un sous-ensemble du RNC. Ceci permet –entre autres– la mise en oeuvre en vraie grandeur de solutions innovantes « pur-IPv6 » pour des réseaux radio hétérogènes B3G/WLAN expérimentaux. La gestion des ressources radio (Radio Resource Management, RRM), responsable de la gestion de la mobilité, de la Qualité de Service et de la configuration de l'Access Stratum, est définie dans un contexte de type Internet, et non plus UMTS. Cette architecture permet une interconnexion sans discontinuité des différents accès radio qui fonctionnent tous en relation directe avec la couche de protocole IP (par exemple, WLAN et UMTS).

Actuellement, nous avons développé le mode 3.84 MChip/s de l'UMTS/TDD. Les variantes HSPDA (accès paquet haute vitesse) de la Version 5 et 1.28 MChip/s (TD-SCDMA) [25.201] sont actuellement en cours de développement dans le cadre de plusieurs projets de recherche publics (RHODOS, LAO-TSEU) [RNRT]. Nous avons également planifié d'étendre les développements pour supporter de nouveaux protocoles radio et MAC dans le cadre de la mise en réseau ad'hoc des communications à l'intention d'organismes responsables de Sécurité Publique (pompiers, ...) par des systèmes larges bandes et reconfigurables. Ces systèmes suivent les spécifications MESA [MESA]. Nos équipements radio restent compatibles avec ces extensions, qui seront réalisées par l'ajout de fonctions logicielles uniquement.

4.4.3. Couches d'interconnexion

Deux couches de protocole contribuent à l'interconnexion directe avec IPv6 : le GRAAL et le RRC.

Le GRAAL est développé en temps qu'extension d'un gestionnaire de périphérique IPv4/v6. Lorsque les paquets IP entrent dans le GRAAL, ils traversent un classificateur qui sépare les paquets de signalisation et les paquets de données. Les paquets de signalisation sont soit traités localement, soit envoyés vers les canaux de signalisation, selon leur nature.

Pour les paquets de données, le GRAAL utilise les informations de QoS contenues dans l'en-tête IP pour acheminer les paquets vers les canaux radio correspondants. Une cellule UMTS est ici considérée comme un sous-réseau IPv6, et donc en ce sens, le RG est un routeur pour les utilisateurs de la cellule sous-réseau.

Selon les standards, l'opérateur et/ou l'implémentation sont responsables de la correspondance entre les paramètres applicatifs de QoS et les paramètres de service de porteuse 3GPP. Le GRAAL tient à jour une table de correspondance entre les classes de service de niveau 2 (de type UMTS) et les classes service de niveau 3 (de type IP).

S'il n'y a pas de porteuse radio existante correspondant à un paquet reçu, le GRAAL déclenche l'établissement d'un nouveau canal. Lorsque les ressources définies sur le réseau ont été jugées suffisantes, il obtient l'autorisation d'établir ce nouveau canal radio. Il détermine la correspondance entre le codepoint DiffServ contenu dans l'en-tête du premier paquet IP et l'une des classes de service définies pour l'interface radio. Les paramètres et ressources pour l'Access Stratum sont demandés au RRM (cf. 1.4.3), l'authentification et le comptage aux entités responsables dans le cœur du réseau. Si une porteuse radio est déjà établie, le paquet IP est transféré directement aux entités PDCP/RLC correspondantes.

Le GRAAL fournit aussi les fonctions suivantes dans le plan « Contrôle » :

- procédure d'attachement/détachement du terminal mobile
- procédure d'établissement/relâchement de la porteuse radio
- diffusion (dans la Passerelle Radio) de
 - messages « Neighbour Discovery » (recherche des mobiles voisins) et Annonce des Routeurs (Router Advertisement)
 - la liste des cellules adjacentes,
 - la liste de qualité de réception des cellules adjacentes (dans les stations mobiles pour le HandOver IPv6)

- calcul de l'adresse IPv6 sur le lien (Link Local)

La couche RRC développée dans la plate-forme est un sous-ensemble du protocole défini dans le standard 3GPP [25.331]. Elle fournit les interfaces et les procédures de signalisation entre les couches basses des protocoles radio (PHY/MAC/RLC) et les protocoles de la couche réseau (diffusion, paging, gestion de la connexion) ainsi que les entités spécifiques de type RRM. En particulier, elle fournit des procédures pour

- l'établissement et le relâchement de la connexion au réseau
- l'établissement et le relâchement des canaux radio
- les mécanismes de diffusion d'information du système et de paging
- la collection et le compte-rendu des mesures (par exemple les niveaux de puissance, qualité du signal, volume de trafic transféré)

4.4.4. Gestion des Ressources Radio

Une fonction qui n'est généralement pas présente dans les stations de base (mais présente dans le RNC) est le RRM dont les algorithmes doivent gérer les ressources radio de plusieurs cellules adjacentes. Cette entité est présente dans la plate-forme.

Le RRM est mis en oeuvre de façon centralisée pour un groupe de RGs, ce qui permet une gestion conjointe des ressources radio pour différentes cellules, et potentiellement, pour différentes technologies d'accès. Dans l'environnement pur-IP envisagé ici, l'entité RRM est localisée dans un serveur du cœur de réseau qui fournit (ou fournira dans un proche futur) les fonctions suivantes aux clients RGs qu'elle gère:

1. configuration automatique de l'Access Stratum à partir des requêtes de service basées sur la QoS
2. réduction des parasites (contrôle de puissance, allocation dynamique de canal)
3. gestion de la mobilité de bas niveau (par exemple, contrôle du « Soft Handover »)
4. gestion de ressources conjointe à travers plusieurs technologies d'accès différentes (UMTS/WLAN)
5. recueil et algorithmique du traitement des mesures.

4.5. Reconfigurabilité

4.5.1. Reconfigurabilité fonctionnelle

La plate-forme est reconfigurable selon plusieurs points de vue. Deux d'entre eux ont déjà été abordés. Le premier est la reconfigurabilité d'un point de vue opérationnel. L'ensemble des couches protocolaires étant mis en œuvre de façon logicielle, il est tout à fait possible d'ajouter, d'adapter ou de supprimer certaines fonctionnalités à la plate-forme selon les besoins du projet collaboratif qui l'utilise. Par exemple, des fonctionnalités liées à la mobilité et à la diffusion de contenu multimédia seront ajoutées à la plate-forme de base pour le projet IST Daidalos [IST]. Des algorithmes d'optimisation des ressources radio dans le cadre de la garantie de service de bout-en-bout seront rajoutés à la même plate-forme de base pour le projet RNRT Rhodos [RNRT]. De nouveaux algorithmes optimisant la couche MAC pour le support de réseaux de Sécurité Publique vont être mis en œuvre dans le cadre du projet WIDENS [IST]. Pour tous ces projets, la couche logicielle de base est modifiée et améliorée grâce à de nouveaux modules logiciels. La partie matérielle, basée sur les modules RF décrits ci-dessus, reste inchangée.

4.5.2. Reconfigurabilité opérationnelle

La deuxième possibilité de reconfigurer la plate-forme concerne la partie radio et les couches de transport des paquets (MAC, RLC). A partir des résultats des algorithmes de gestion des ressources radio exécutés dans l'entité RRM, il peut s'avérer nécessaire d'optimiser la gestion de l'interface radio et donc de changer certains des paramètres des couches 1 et 2 à la volée. Des procédures de reconfiguration des canaux radio sont spécifiées dans la couche RRC et dans la couche physique pour appliquer ces nouveaux paramètres. L'implémentation actuelle nécessite la fermeture et réouverture de ces canaux, mais il sera possible dans le futur de modifier ces paramètres de façon transparente, grâce aux procédures de reconfiguration. Certains paramètres, comme la puissance d'émission peuvent déjà être ajustés à partir du résultat de mesures radio.

L'entité RRM peut aussi décider de changer le contexte radio en transférant le trafic des données vers une interface WLAN lorsque celle-ci est disponible (et vice-versa). On exécute alors une procédure de handover ou mobilité directement au niveau IP. L'interconnexion directe avec le protocole IP permet une reconfiguration de ce contexte de façon naturelle, sans création de tunnels ni intervention de protocoles intermédiaires, ainsi que le montre la figure 4.8. Nous prévoyons de rendre cette mobilité encore plus fluide en y ajoutant un mécanisme de «soft handover» au niveau IP, permettant de dupliquer les flux de données sur les deux

interfaces radio (UMTS et WLAN) pendant toute la durée du transfert. Ce mécanisme, mis au point avec des interfaces WLAN, doit être porté sur la plate-forme UMTS-TDD prochainement.

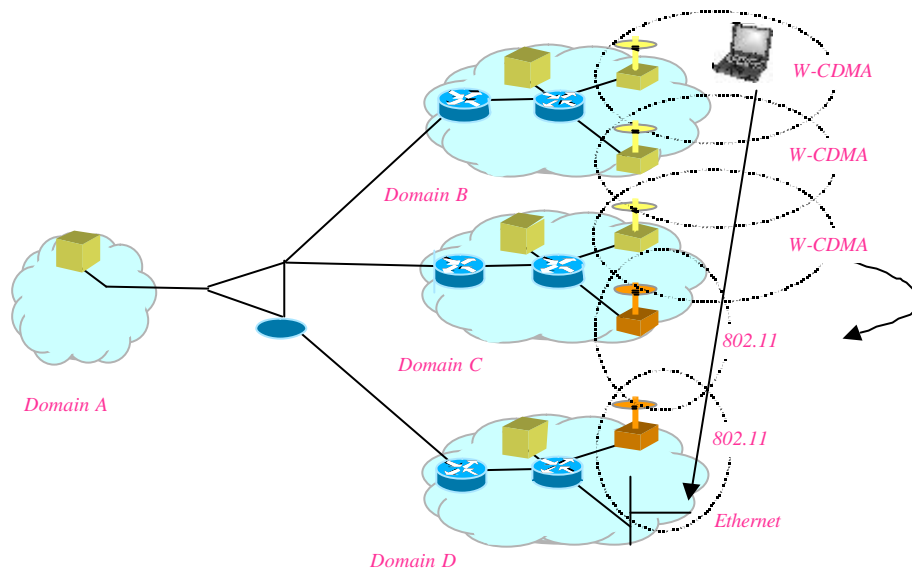


Figure 4.8. Mobilité dans un environnement «pur-IP»

4.5.3. Reconfigurabilité logicielle

Une troisième possibilité de reconfiguration de la plate-forme est actuellement en cours de conception et de test dans le cadre du projet IST E2R [IST]. En effet, la reconfiguration de la pile protocolaire, totale ou partielle, peut être réalisée potentiellement en cours d'opération, en téléchargeant un élément logiciel contenant soit du code source, soit des modules pré compilés. Un scénario type est celui de la mise à jour du logiciel lors du démarrage du terminal. Un utilisateur allume son terminal qui exécute une phase d'initialisation au cours de laquelle un logiciel, opérant en tant que client de mise à jour, est exécuté automatiquement et active une communication par défaut avec une application serveur. Après vérification de l'identité de l'utilisateur, celui-ci a alors accès à une liste de mises à jour compatibles avec son système et ses versions de logiciel courantes. L'utilisateur choisit une nouvelle fonctionnalité, une correction de problème ou toute autre

amélioration de la plate-forme. L'élément logiciel retenu est alors téléchargé dans la plate-forme, éventuellement authentifié par sa signature. Il est ensuite exécuté et remplace une partie du logiciel existant par le code source ou objet en provenance du serveur. Selon le niveau de la modification réalisée, le terminal peut être éventuellement redémarré pour que la mise à jour soit prise en compte. Il est aussi possible de remplacer l'intégralité du logiciel de la plate-forme radio de cette façon, ou de déclencher la reconfiguration à partir d'un composant spécifique de surveillance du réseau si celui-ci l'estime nécessaire. Cette capacité de la plate-forme permettra de mettre au point et d'expérimenter en vraie grandeur des algorithmes de mise à jour de terminaux mobiles en grande série (mass upgrade).

4.6. Conclusion

Nous avons introduit dans ce chapitre une plate-forme radio-logicielle implémentant une forme d'onde de type UMTS-TDD. Tout le traitement du signal, ainsi que la pile de protocole d'accès radio sont réalisés en software, sur un processeur du commerce sous RT-Linux. La partie matérielle est ainsi limitée aux conversions numérique/analogique au passage en radio-fréquence et aux éléments de puissance. Cette approche permet une reconfiguration totale des formes d'onde considérées, des traitements associés (codage, égalisation, gestion des ressources radios...).

4.7. Bibliographie

- [SDR03] Bonnet, Christian;Callewaert, Hervé;Gauthier, Lionel;Knopp, Raymond;Menouni Hayar, Aawatif;Moret, Yan;Nussbaum, Dominique;Racunica, Illia;Wetterwald, Michelle ; Open-source experimental B3G networks based on software-radio technology ; SDR'2003, Software digital radio, November 19-23, 2003, Orlando, USA
- [IST04] Wetterwald, Michelle;Bonnet, Christian;Gauthier, Lionel;Moret, Yan; Knopp, Raymond;Nussbaum, Dominique;Melin, Eric - An original adaptation of the UMTS protocols for a direct interconnection with IPv6 - 13th IST Mobile and Wireless Communications Summit 2004, 27-30 June, Lyon – France
- [EURE] www.wireless3G4Free.com
- [3GPP] 3GPP Website, <http://www.3gpp.org>
- [IEEE] IEEE working groups – IEEE 802.xx, <http://grouper.ieee.org/groups/802>
- [IP] IPv6 Forum Website, <http://www.ipv6forum.org>
- [MIP] Mobile IP Charter, <http://www.ietf.cnri.reston.va.us/html.charters/mobileip-charter.html>,
- [SIP] SIP Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/sip-charter.html>
- [LIN] Linux Website, <http://www.linux.org>

[RTL] FSMLabs Website, <http://www.fsmlabs.com>

[RTAI] RTAI Website, <http://www.rtai.org>

[25.201] 3GPP TS 25.201: "Physical layer - general description"

[25.301] 3GPP TS 25.301: "Radio Interface Protocol Architecture"

[25.331] 3GPP TS 25.331: "RRC Protocol Specification"

[23.060] 3GPP TS 23.060 : "Technical Specification Group Services and System Aspects;
General Packet Radio Service (GPRS); Service description"

[RNRT] <http://www.telecom.gouv.fr/rnrt>

[MOB] Projet IST Moby Dick : <http://www.ist-mobydick.org/>

[IST] Projets IST FP6 : <http://www.cordis.lu/ist/projects/projects.htm>

[INTEL] <http://www.intel.com>

[MESA] <http://www.projectmesa.org>