



Partage distribué et dynamique de spectre entre cellules par l'utilisation de jetons crédits

David GRANDBLAISE

*Motorola Labs, Parc Les Algorithmes, Commune de Saint Aubin, 91193 Gif sur Yvette, France
david.grandblaise@motorola.com*

Résumé

Le spectre peut être réutilisé dynamiquement pour un usage secondaire lorsque celui-ci n'est pas utilisé temporairement par le système (primaire) qui possède ce spectre. Afin de supporter cet usage secondaire, ce papier décrit les grandes lignes d'un protocole distribué, coopératif et dynamique de location de spectre lorsqu'un algorithme d'allocation dynamique de ressource (DCA) est utilisé entre une cellule primaire et plusieurs cellules secondaires. Le protocole de location est basé sur des mécanismes d'enchères utilisant des jetons crédits applicable au niveau MAC pour des systèmes de type OFDMA. Les règles d'utilisation de ces jetons crédits sont spécifiées dans l'étiquette radio de manière adaptative. En outre, ce papier expose des approches possibles de communications BS à BS pour mettre en oeuvre ce protocole. Enfin, ce papier décrit comment ce protocole est aligné avec les efforts de normalisation actuellement menés au sein des projets IEEE 802.16h et 802.22 mettant en oeuvre de premières fonctionnalités de radio cognitive.

Mots clés : Allocation dynamique de ressource radio (DCA), protocole de location, étiquette radio, enchères, jetons crédits.

Introduction

L'utilisation variable du spectre dans l'espace et dans le temps [1] motive pour un partage dynamique du spectre sous forme de location entre opérateurs. A cet effet, le spectre peut être réutilisé dynamiquement pour un usage secondaire lorsque celui-ci n'est pas utilisé par le système (primaire) qui possède ce spectre. L'utilisation secondaire du spectre peut être mise en oeuvre par un algorithme d'allocation dynamique de ressource radio (DCA en anglais). Avec DCA, le spectre peut être utilisé par n'importe quelles cellules voisines ou cellules qui se superposent. Le partage de spectre avec DCA est possible à condition que la distance de réutilisation fréquentielle entre cellules primaires et secondaires est suffisamment grande pour ne pas violer le niveau d'interférence co-canal admissible. L'avantage de l'utilisation du DCA est que sa mise en oeuvre ne repose que sur l'utilisation d'information locale concernant la disponibilité des canaux dans chaque cellule. Avec cette approche, le partage de la connaissance sur les canaux disponibles peut être effectué en point à point entre cellules primaires et secondaires voisines ou se chevauchant.

Dans un contexte multi-cellulaires mettant en oeuvre le partage de spectre secondaire avec DCA, le principal enjeu est la distribution des ressources radio (temps + fréquence) de la cellule primaire entre les cellules secondaires (en compétition pour accéder à ces ressources) tout en assurant l'équité à l'accès. Une façon d'y aboutir est de procéder à une négociation automatique des droits d'accès [2] de manière distribuée entre cellules. A cet effet, dans ce papier, il est proposé que la négociation soit effectuée par un protocole de location temps réel afin de résoudre ces problèmes de contention. Ce protocole repose sur l'utilisation distribuée et dynamique d'enchère entre une cellule primaire et plusieurs cellules secondaires participant au DCA. La place de marché local est constituée par ces cellules. La cellule primaire joue le rôle d'offrant et les cellules secondaires jouent le rôle de demandeurs. Par exemple, la Figure 1 illustre le cas où la cellule primaire (décrite en couleur bleu) ouvre en location ses ressources radio pour une réutilisation temporaire par les cellules secondaires (les cellules secondaires sont décrites en pointillé, et chaque opérateur secondaire est supposé avoir deux cellules voisines avec la cellule primaire dans cet exemple).

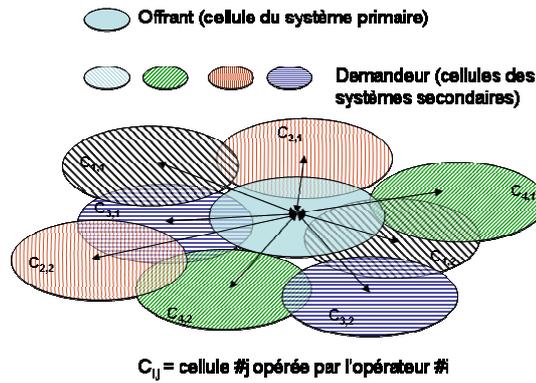


Figure 1 : Partage de spectre entre cellules primaires et secondaires avec DCA

L'application de mécanismes d'enchères pour le partage de ressources radio pour les radios cognitives a été initialement proposée dans le cas spécifique de « spectrum pooling » [3]. Cette approche a été plus largement élaborée dans [4] et [5]. Néanmoins, ces schémas considèrent les enchères entre plusieurs utilisateurs en compétition pour l'accès à la ressource au sein d'une même cellule. La dimension multi-cellules n'est pas considérée par ces papiers. Ce présent papier étend cette approche en considérant un protocole de location distribué et coopératif pour DCA dans un contexte multi-cellules et de systèmes OFDMA. Ici, les procédures de location sont transparentes pour l'utilisateur, tout se passe entre cellules.

Ce papier est structuré de la façon suivante. La section 1 introduit conjointement le protocole de location basé sur des jetons crédits et l'étiquette radio dans le cas du DCA. La section 2 illustre l'utilisation de ce protocole dans le cas d'enchères ascendantes au niveau MAC pour une structure de trame OFDMA. La section 3 expose deux approches de communication BS à BS permettant la mise en oeuvre de ce protocole. Enfin, la section 4 décrit comment ce protocole est aligné avec les efforts de normalisation IEEE 802.16h et IEE 802.22 mettant en oeuvre de premières fonctionnalités de radio cognitive.

1. Protocole de location et étiquette radio

1.1. Protocole de location entre cellules

Cette partie décrit les principes de mécanismes de location de ressource radio basés sur l'utilisation de jetons crédits. Il est supposé que les différentes cellules secondaires (BS et spectre) sont chacune la propriété d'un seul opérateur (Figure 1). Il est à noter que suivant les variations spatiales et temporelles du trafic, chaque cellule peut soit être primaire ou secondaire alternativement.

L'approche pour la location de ressource est tributaire de la technologie d'accès radio considérée. Dans ce papier, on considère des systèmes OFDMA. L'OFDMA fournit la flexibilité nécessaire pour allouer dynamiquement les ressources radio conjointement dans les domaines temporel et fréquentiel (continu et fragmenté). A cet effet, définissons un BIN (un symbole OFDM * sous porteuse) comme étant la plus petite unité de ressource qui peut être louée entre cellules primaires et secondaires.

Le protocole de location permet à chaque cellule primaire d'informer (sous forme de publicité) qu'elle offre pour location X BINs pour une période donnée Δ . Pour cela, cette cellule propose un prix de départ RPA (reserve price en anglais) pour cette location. Ce RPA est exprimé comme un nombre de jetons crédits par BIN et par unité de temps de location (normalisé par rapport à Δ). Basé sur ce RPA, chaque cellule secondaire peut faire une offre avec un certain nombre de jetons crédits par BIN (\geq RPA) pour X' BINs ($X' \leq X$) pour une période $\Delta' \leq \Delta$. La période d'enchères est définie comme étant la période pendant laquelle la négociation a lieu. Cette période a pour durée δ et peut être périodique.

Ce papier introduit et définit le jeton crédit comme l'unité de base utilisé pour les différentes transactions (vente, achat, récompense) de la négociation pour n'importe quel type de schéma d'enchères entre la cellule primaire et les cellules secondaires. Chaque cellule est initialement créditée d'un certain budget de jetons crédits. L'utilisation des jetons crédits et la limitation du budget permettent de résoudre les problèmes de contention sur l'utilisation des BINs entre les cellules secondaires en compétition. Puisque le nombre de jetons crédits déboursés est fonction du nombre de BINs voulus pour une période souhaitée ($\leq \Delta$) par la

cellule secondaire, cette unité permet de gérer l'équité d'accès (par alternance) pour une utilisation secondaire du spectre entre cellules secondaires.

En outre, l'utilisation de jetons crédits fournit les moyens d'encourager les cellules primaires à partager leurs BINs lorsqu'ils ne sont pas ou partiellement utilisés. A cet effet, un certain nombre de jetons crédits peut être crédité sous forme de récompense à la cellule primaire offrant ses BINs pour une réutilisation secondaire. Cette récompense peut être pondérée en fonction du temps de location et du nombre de BINs loués par unité de temps. Ces crédits lui serviront ultérieurement lorsqu'elle jouera le rôle de cellule secondaire.

Puisque le nombre de BINs partagés entre la cellule primaire et chaque cellule secondaire se fait sous forme d'accord pour une période donnée entre ces deux parties, le schéma proposé dans ce papier permet de garantir à la cellule secondaire le temps d'accès à la ressource radio pour la période négociée, favorisant ainsi la qualité de service (QoS).

1.2. Etiquette radio

L'étiquette radio (Figure 2) spécifie les règles d'utilisation des jetons crédits manipulés par le protocole de location entre cellules.

Cette approche fournit la flexibilité nécessaire pour adapter, paramétrer en fonction du contexte la méthode d'enchères à utiliser pendant les transactions. En particulier, le choix de la méthode d'enchères [6] peut être effectué en fonction des paramètres suivants notamment : le nombre de cellules secondaires participant à l'enchère, le nombre de BINs offerts (i.e. en fonction des fluctuations spatiales et temporelles du trafic), le temps de location, la période d'enchère plus ou moins longue, etc.

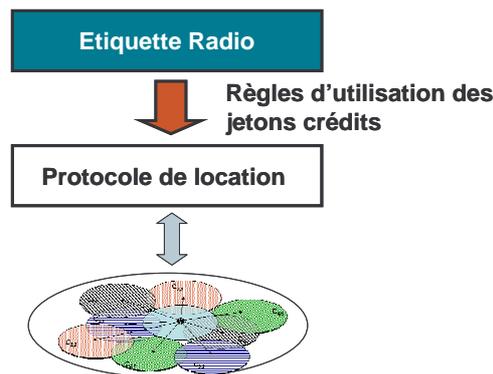


Figure 2 : Etiquette radio régissant le protocole de location de BINs

Cette approche fournit les moyens pour mettre en oeuvre une gestion dynamique des ressources radio basée sur la spécification de règles (policy en anglais) adaptatives à chaque contexte. En particulier, compte tenu du caractère dynamique et temps réel des transactions, des agents logiciels peuvent être utilisés localement à chaque BS pour appliquer et superviser les règles spécifiées par l'étiquette radio. Cette approche esquisse les principes d'une gestion dynamique, distribuée (i.e. entre BSs), collaborative et cognitive du partage de ressources radio entre cellules.

2. Exemple de protocole de location basé sur des jetons crédits

Cette section illustre l'utilisation de ce protocole dans le cas d'enchères ascendantes pour le partage de ressources radio au niveau MAC dans le cas de la structure de trame OFDMA décrite par la Figure 3.

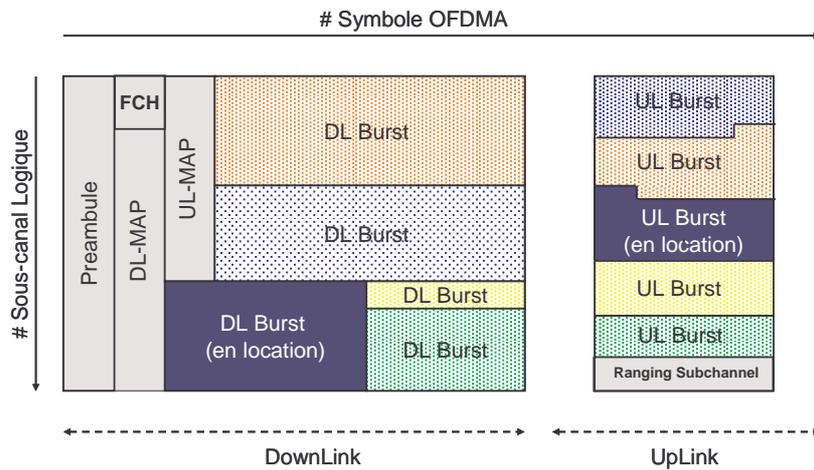


Figure 3 : Exemple de structure de trame OFDMA pour la location de ressources (BINs)

L'ensemble des transactions de la négociation entre une cellule (BS) primaire (offrant) et plusieurs cellules (BS) secondaires (enchérisseurs) peut être décrit par le cycle des Figures 4 et 5 dans le cas d'enchères ascendantes. Afin de rendre plus lisible ces figures, uniquement une seule cellule secondaire est représentée sur ces figures bien que plusieurs cellules secondaires soient considérées en réalité. Compte tenu de cette méthode d'enchère, les cellules secondaires intéressées peuvent enchérir pendant la période d'enchère δ précisée par la cellule primaire. Pendant cette période, un processus dynamique et itératif est lancé pour tenir compte des enchères ascendantes successives [7].

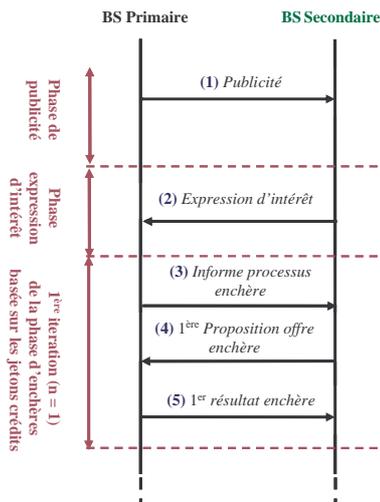


Figure 4 : Cycle du protocole de location

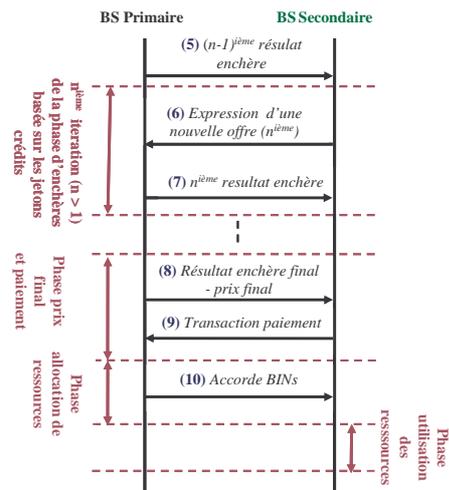


Figure 5 : Cycle du protocole de location (suite)

3. Communication BS-BS

Cette section expose différentes options permettant la communications BS à BS pour la mise en oeuvre du protocole de location.

3.1. Approches possibles

La mise en pratique du cycle du protocole de location peut être effectuée par l'introduction d'une signalisation appropriée soit par le backhaul (i.e. le réseau filaire), soit par l'interface radio entre BSs. Dans les deux cas, l'utilisation de bases de données locales (localisées à chaque BS) et de bases de données régionales peuvent être utilisées pour stocker la mise à jour des informations concernant l'utilisation des ressources radio par chaque BS ou zone géographique régionale (plusieurs BSs voisins ou se chevauchant).

3.2. Communication par le backhaul

Dans ce cas (Figure 6), les communications pour les différentes phases (publicité, expression d'intérêt, etc) du cycle entre les cellules primaires et secondaires sont supportées par le backhaul par le biais de communications IP et l'utilisation d'un serveur. Le serveur joue le rôle de gateway entre la cellule primaire et les cellules secondaires. Cette approche n'est pas appropriée pour des négociations qui sont sensibles au délai (introduit par le réseau).

3.3. Communication par l'interface radio

Dans ce cas (Figure 7), les communications pour les différentes phases (publicité, expression d'intérêt, etc) du cycle entre les cellules primaires et secondaires sont supportées par l'interface radio. Cela signifie que chaque BS peut broadcaster, multicaster et communiquer en point à point avec les BS avoisinantes en fonction de son état (primaire ou secondaire) et de la phase du cycle en cours. En considérant directement des fonctionnalités d'auto-négociation au niveau MAC, cette approche est plus proche d'une solution radio cognitive (peut intégrer simultanément des fonctions de sensing, allocation, négociation...). En outre, cette approche est moins sensible au délai pour des transactions temps réel. Cette signalisation par l'interface radio peut être physique ou logique. Dans le cas d'une signalisation physique, les communications radio sont directes entre BSs. Dans le cas d'une signalisation logique, les communications radio entre BSs peuvent être établies par l'usage d'un pont (ex : un terminal) qui fait relai entre les BSs.

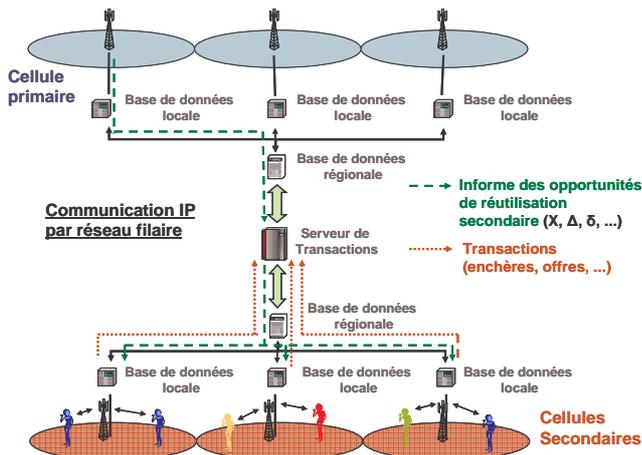


Figure 6 : Signalisation par le backhaul

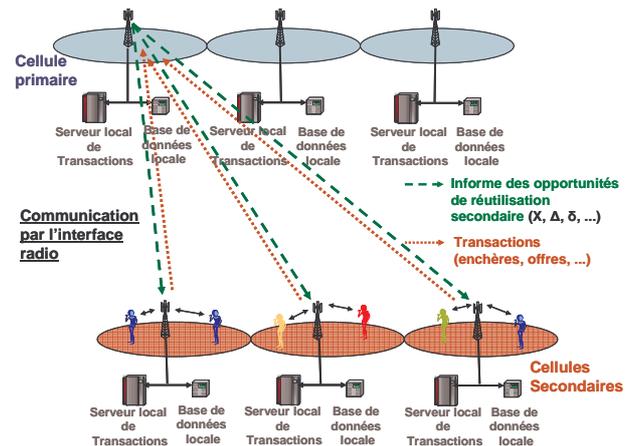


Figure 7 : Signalisation par l'interface radio

4. Protocole de location et normalisation IEEE 802 sur la radio cognitive

La mise en oeuvre de premières fonctions de radio cognitive au sein du groupe de normalisation IEEE 802 a commencé. En effet, depuis la fin de 2004, le groupe de normalisation IEEE 802 a respectivement lancé les projets IEEE 802.16h [8] et IEEE 802.22 [9][10]. Une des exigences pour chacun de ces deux systèmes est de pouvoir réutiliser le spectre de systèmes primaires sans leur causer d'interférence. Pour chacun des systèmes IEEE 802.16h et 802.22, deux types de co-existence doivent être pris en compte : la co-existence avec les systèmes primaires, et l'auto co-existence (i.e. co-existence entre systèmes 802.16h entre eux, ou entre systèmes 802.22 entre eux). Afin de résoudre ces problèmes d'auto co-existence, des propositions sont actuellement en cours de discussion dans chacun de ces projets pour mettre en oeuvre des mécanismes de partage de ressources dynamiques. En particulier, l'idée de protocole de location entre BSs est en cours de réflexion.

Conclusion

Ce papier a décrit un protocole distribué, dynamique et temps réel de location de ressources radio (au niveau MAC) entre BSs lorsque les ressources peuvent être allouées avec un algorithme de DCA dans un contexte de systèmes OFDMA. Le protocole de location proposé est basé sur la transaction de jetons crédits assurant ainsi une réutilisation secondaire du spectre de manière collaborative entre cellules primaires et secondaires. Différentes méthodes d'enchères utilisant les jetons crédits peuvent être mises en oeuvre afin de s'adapter au contexte. En outre, les grandes lignes de mise en pratique de ce protocole ont été illustrées. L'intérêt d'une telle approche dans le contexte de normalisation IEEE 802.16h et 802.22 a aussi été souligné. Les mécanismes présentés dans ce papier esquissent les principes d'une gestion dynamique, distribuée, collaborative et cognitive du partage de ressources radio entre cellules.

Remerciements

Ce travail est effectué dans le cadre du projet de recherche E²R II financé par l'Union Européenne.

Références bibliographiques

- [1] New York City Spectrum Occupancy Measurements September 2004, December 15, 2004, Shared Spectrum Company.

- [2] ET Docket No. 03-108, Notice of Proposed Rule Making And Order, FCC, December 2003.
- [3] Mitola, J., III; "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", Mobile Multimedia Communications, 1999. (MoMuC '99), 15-17 Nov. 1999, pp.3 – 10.
- [4] Jondral F. Kloeck C., Jaekel H., "Auction Sequence as a New Resource Allocation Mechanism," IEEE VTC Fall 05, 2005.
- [5] Kloeck, C.; Jaekel, H.; Jondral, F.K.; "Dynamic and local combined pricing, allocation and billing system with cognitive radios, IEEE DySPAN 2005 Symposium, 8-11 Nov. 2005.
- [6] V. Krishna; "Auction Theory", Academic Press 2002.
- [7] D. Grandblaise et al, "Credit Tokens based Scheduling for Inter BS Spectrum Sharing", 4th Karlsruhe Workshop on Software Radios, WSR'06, Karlsruhe, Germany, 22-23 March 2006.
- [8] IEEE 802.16 License Exempt (LE) task Group (802/16h), <http://www.ieee802.org/16/le/>
- [9] IEEE 802.22 Working Group on Wireless Regional Area Networks, <http://www.ieee802.org/22/>
- [10] C. Cordeiros, K. Challapali, D. Birru and S. Shankar N, "IEEE 802.22: the First Worldwide Wireless standard based on Cognitive Radios", DySPAN 2005 Conference, 8-11 November, Baltimore, MD, USA.