HAL
open science

Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad

To cite this version:

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad. Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive. 2ième édition de la conférence nationale de l'informatique destinée aux étudiants de graduation et de post-graduation, Apr 2012, Alger, Algérie. hal-00681605

HAL Id: hal-00681605

https://inria.hal.science/hal-00681605

Submitted on 21 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Accès Dynamique au Spectre dans le Contexte de la Radio Cognitive

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad
LTT Laboratoire de Télécommunications Tlemcen
UABT Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, Algérie
{amraoui.asma,badr.benmammar,ftbendimerad}@gmail.com

***Résumé*— L'idée de la Radio Cognitive est de partager le spectre entre un utilisateur dit primaire, et un utilisateur dit secondaire. L'objectif principal de cette gestion du spectre consiste à obtenir un taux maximum de l'exploitation du spectre radio, pour cela une coopération entre les utilisateurs est nécessaire. Dans ce papier, nous présentons un état de l'art sur les différentes techniques d'accès au spectre utilisant la coopération et la compétition pour résoudre le problème de l'allocation du spectre et ainsi assurer une meilleure gestion.**

Mots-clés: Radio cognitive; accès dynamique au spectre ; partage du spectre ; intelligence artificielle.

I. INTRODUCTION

Nous assistons actuellement à la multiplication des normes et des standards de télécommunication vu les progrès récents dans ce domaine. Le nombre croissant de standards normalisés permet d'élargir l'éventail des offres et des services disponibles pour chaque consommateur, d'ailleurs, la plupart des radiofréquences disponibles ont déjà été allouées.

Une étude réalisée par la Federal Communications Commission (FCC) a montré que certaines bandes de fréquence sont d'ores et déjà surchargés aux heures de pointe. Cependant, l'utilisation du spectre de fréquence n'est pas uniforme: selon les heures de la journée, selon la position géographique, une bande fréquentielle peut être surchargée pendant qu'une autre reste inutilisée. L'idée a donc naturellement émergé de développer des outils permettant de mieux utiliser le spectre.

La Radio Cognitive (RC) est le concept qui permet de répondre à ce défi ; mieux utiliser le spectre, c'est aussi augmenter les débits et rendre plus fiable la couche physique.

L'application des approches de l'Intelligence Artificielle dans la RC est très prometteuse, en effet elle est utilisée dans la mise en œuvre de l'architecture des réseaux RCs. Ces derniers doivent pouvoir coexister pour rendre les systèmes de la RC pratiques, ce qui peut générer des interférences aux autres utilisateurs. Afin de traiter ce problème, l'idée de la coopération entre les utilisateurs pour détecter et partager le spectre sans causer d'interférences est mise en place.

Dans ce papier, nous commençons par définir la RC et ses différentes fonctions, ensuite nous expliquons les différentes approches existantes pour l'allocation dynamique de spectre. Pour simplifier les choses, nous classons ces travaux dans plusieurs domaines tels que les solutions basées sur la négociation, sur la théorie des jeux, sur les chaînes de Markov et sur les Systèmes Multi Agents (SMA).

II. RADIO COGNITIVE

A. *Définition*

L'idée de la radio cognitive a été présentée officiellement par Joseph Mitola à un séminaire à KTH, l'Institut royal de technologie, en 1998, publié plus tard dans un article de Mitola et Gerald Q. Maguire, Jr en 1999 [1].

La RC est une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur/récepteur peut détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en cours d'utilisation et ceux qui ne le sont pas, et peut se déplacer vers les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs.

Le principe de la RC, repris dans la norme IEEE 802.22 et IEE 802.16h [4] nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un utilisateur dit secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il trouve libres, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire (SU pour Secondary User) devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire (PU pour Primary User) aura montré des velléités de connexion.

B. *Fonctions de la Radio Cognitive*

Les principales fonctions de la RC sont les suivantes [2]:

1) *Détection du spectre :*

C'est la fonctionnalité de base, elle consiste à détecter le spectre non utilisé et le partager sans interférence avec d'autres utilisateurs. L'un des objectifs de la détection du spectre, en particulier pour la détection des interférences, est

d'obtenir le statut du spectre (libre /occupé), de sorte que le spectre peut être consulté par un SU en vertu de la contrainte d'interférence. Le défi réside dans le fait de mesurer l'interférence au niveau du récepteur primaire causée par les transmissions d'utilisateurs secondaires.

2) Gestion du spectre:

Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs. Les RCs devraient décider de la meilleure bande de fréquence pour répondre aux exigences de qualité de service sur toutes les bandes de fréquences disponibles, donc les fonctions de gestion du spectre sont nécessaires pour les RCs. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit:

a) Analyse du spectre : les résultats obtenus de la détection du spectre sont analysés pour estimer sa qualité. Une des questions qui se posent est de savoir comment mesurer la qualité du spectre qui peut être accédé par un SU. Cette qualité est caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs du spectre. Cependant, les informations sur cette qualité peuvent être imprécises et bruyantes. Des algorithmes d'apprentissage de l'Intelligence Artificielle sont des techniques qui peuvent être employées par les utilisateurs de la RC pour l'analyse du spectre.

b) Décision sur le spectre : un modèle de décision est nécessaire pour l'accès au spectre. La complexité de ce modèle dépend des paramètres considérés lors de l'analyse du spectre.

Le modèle de décision devient plus complexe quand un SU a des objectifs multiples. Par exemple, un SU peut avoir l'intention de maximiser son rendement tout en minimisant les perturbations causées à l'usager primaire. Les méthodes d'optimisation stochastique seront un outil intéressant pour modéliser et résoudre le problème d'accès au spectre dans un environnement RC.

Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influer sur la décision d'accès au spectre. Ces derniers peuvent être coopératifs ou non coopératifs comme le montre la Fig.1.

Dans un environnement coopératif, les RCs coopèrent les unes avec les autres pour prendre une décision pour accéder au spectre et maximiser une fonction objectif commune en tenant compte des contraintes. Dans un tel scénario, un contrôleur central peut coordonner la gestion du spectre.

Dans un environnement multi utilisateur distribué, pour un accès non-coopératif au spectre, chaque utilisateur parvient à une décision optimale de façon indépendante en observant le comportement (historique / action) des autres utilisateurs du système. Par conséquent, un algorithme distribué est nécessaire pour un SU pour prendre la décision sur l'accès au spectre de manière autonome

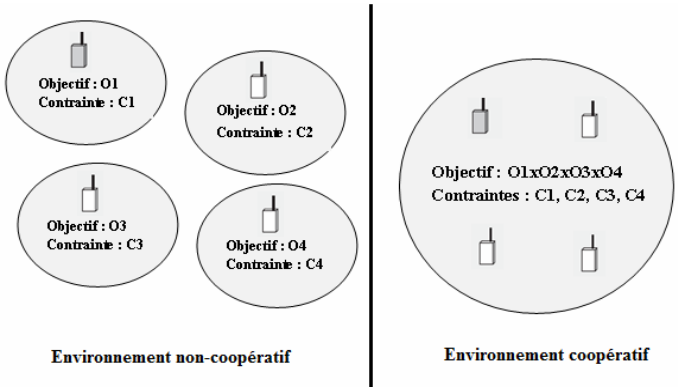

Figure 1. Accès au spectre Coopératif et non-coopératif.

3) Mobilité du spectre :

C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la RC de changer sa fréquence de fonctionnement. Les réseaux RC utilisent le spectre de manière dynamique en permettant à des terminaux radio de fonctionner dans la meilleure bande de fréquence disponible, de maintenir les exigences de communication transparentes au cours de la transition à une meilleure fréquence.

III. ACCES DYNAMIQUE AU SPECTRE

La croissance explosive des services sans fil ces dernières années illustre la demande croissante des communications, ainsi le spectre devient plus encombré. Nous savons que l'allocation du spectre statique est un problème majeur dans les réseaux sans fil Généralement, ces allocations conduisent à une utilisation inefficace du spectre et elles créent ce que l'on appelle des trous ou des espaces blancs dans le spectre. Pour résoudre le problème de l'encombrement, les réseaux RC utilisent l'accès dynamique au spectre.

La communication coopérative est connue comme un moyen pour surmonter les limites des systèmes sans fil [26]. Cependant, puisque les utilisateurs ont généralement une connaissance limitée de leur environnement, nous prétendons que le comportement coopératif peut leur fournir les informations nécessaires pour résoudre les problèmes globaux.

Fondamentalement, un SU ne possède pas une licence pour son utilisation du spectre et il peut y accéder soit de manière opportuniste soit par la coexistence avec les utilisateurs voisins autorisés. Ce type d'accès est appelé « partage de licence » et un assez grand nombre de solutions existent déjà dans la littérature [5][7][23].

Nous avons trouvé un grand nombre de travaux proposés relatifs à l'accès au spectre, ceux utilisant les ventes aux enchères, un grand nombre d'approches utilisent la théorie des jeux, mais les approches utilisant les chaines de Markov sont moins nombreuses. Cependant, quelques recherches ont été faites dans ce domaine en utilisant les Systèmes Multi Agents.

1) Accès au spectre en utilisant les Enchères:

Les enchères sont basées sur le concept de vente et d'achat des biens ou de services. Le but principal de l'utilisation des enchères dans les réseaux RC est de fournir une motivation aux utilisateurs secondaires pour maximiser leur utilisation du spectre. Afin d'utiliser pleinement le spectre, l'allocation dynamique du spectre utilisant les enchères est devenue une approche prometteuse qui permet aux utilisateurs secondaires de louer des bandes inutilisées par les utilisateurs primaires.

Dans les solutions basées sur les enchères, chaque canal est assigné à un seul réseau, c'est à dire qu'il n'y a pas la notion de SU et de PU dans le même canal. Une plateforme pour l'allocation du spectre dans la RC est proposée dans [3] utilisant les enchères où le régulateur peut allouer simultanément les droits d'être PU ou SU dans le canal.

Dans ces solutions, les comportements des utilisateurs sont mensongers, de sorte que le gestionnaire centralisé ne peut pas optimiser la fonction d'utilité globale du réseau [32].

2) Accès au spectre en utilisant la Théorie des jeux:

La Théorie des jeux peut être définie comme un cadre mathématique qui se compose de modèles et de techniques utilisés pour analyser le comportement itératif des individus préoccupés par leur propre bénéfice. Ces jeux sont généralement divisés en deux types [11] : jeux coopératifs et jeux compétitifs.

- **Jeux coopératifs:** tous les joueurs sont préoccupés par tous les gains globaux et ils ne sont pas très inquiets de leur gain personnel. Certains travaux récents [5][6] utilisent la théorie des jeux coopératifs pour réduire la puissance de transmission des utilisateurs secondaires afin d'éviter de générer des interférences avec les transmissions des utilisateurs primaires.

- **Jeux compétitifs:** chaque utilisateur est principalement préoccupé par son gain personnel et donc toutes ses décisions sont prises de manière compétitive et égoïste. Dans la littérature existante, nous avons constaté que les concepts théoriques du jeu ont été largement utilisés pour des attributions de fréquences dans les réseaux RC [7] [8] [9], où lorsque les utilisateurs primaires et secondaires participent à un jeu, ils ont un comportement rationnel pour choisir les stratégies qui maximisent leurs propres gains.

La propriété la plus connue des approches de la théorie des jeux est appelée « Equilibre de Nash (EN) ». Dans l'EN, chaque joueur est supposé connaître les stratégies d'équilibre des autres joueurs, et aucun joueur n'a rien à gagner en changeant sa propre stratégie.

Dans les jeux de négociation, les joueurs individuels ont la possibilité de coopérer afin de parvenir à un accord mutuel. En même temps, ces joueurs peuvent avoir des conflits d'intérêt et aucun accord ne peut être fait avec n'importe quel joueur individuel sans son approbation. Pour les réseaux RC, les jeux de négociation sont appliqués pour allouer des bandes de fréquences dans les réseaux centralisés et décentralisés ; l'auteur de [10] propose de concevoir des réseaux autonomes sécurisés où les terminaux et les stations de base interagissent et s'auto-adaptent d'une manière intelligente sans avoir besoin d'un contrôleur central ou d'un régulateur. Sachant que la conception du réseau se fait à l'état d'équilibre.

Il faut mentionner que même si les jeux coopératifs et compétitifs ne s'intéressent qu'à la résolution de l'EN et l'analyse de ses propriétés, ils ne fournissent pas de détails sur l'interaction des joueurs pour atteindre cet équilibre [8].

3) Accès au spectre en utilisant les approches de Markov :

Les approches de la théorie des jeux ne modélisent pas l'interaction entre les utilisateurs secondaires et primaires pour l'accès au spectre. Cette modélisation peut être réalisée en utilisant efficacement les chaînes de Markov [32].

Peu de recherches ont été effectuées dans ce domaine [12] [13], par exemple, dans [12], un modèle de Markov est présenté, où chaque SU sélectionne aléatoirement sa propre chaîne au lieu d'échanger des messages de contrôle avec les autres utilisateurs voisins. Une approche très intéressante utilisant les modèles de Markov est développée par les auteurs de [18] pour analyser les différentes politiques proposées pour le partage du spectre.

4) Accès au spectre en utilisant les Systèmes Multi Agents :

L'association des SMA avec la RC assure un futur remarquable pour la gestion optimale des fréquences (en comparaison avec les techniques de contrôle rigides proposées par les opérateurs de télécommunications). Dans le cas de l'utilisation des bandes sans licence, le terminal RC doit coordonner et coopérer pour un usage meilleur du spectre sans causer d'interférences.

Dans [20], les auteurs proposent une architecture basée sur les agents où chaque terminal RC est équipé d'un agent intelligent, il y a des modules pour collecter les informations à propos de l'environnement radio et bien sur les informations collectées seront stockées dans une base de connaissance partagée qui sera consultée par tous les agents. L'approche proposée est basée sur les SMA coopératifs (les agents ont des intérêts en commun). Ils collaborent en partageant leurs connaissances pour augmenter leur gain individuel ainsi que collectif.

Des agents sont déployés sur les terminaux RC des PU et des SU et coopèrent entre eux dans les travaux proposés dans [22][24]. Par SMA coopératif, on veut dire que les agents PU échangent des t-uples de messages dans le but de s'améliorer eux-mêmes ainsi que le voisinage des agents SU. Ils proposent

que les SU doivent prendre leur décision en se basant sur la quantité du spectre disponible, le temps et le prix proposé par les agents PU. Et ils doivent commencer le partage du spectre dès qu'ils trouvent une offre appropriée (Sans attendre la réponse de tous les PU). En d'autres termes, l'agent SU doit envoyer des messages à l'agent PU voisin approprié, et bien sur le PU concerné doit répondre à ces agents pour faire un accord sur le partage du spectre. Et bien sur après la fin de l'utilisation du spectre, le SU doit payer le PU.

Pour rendre les systèmes de RC pratiques, il faut que plusieurs réseaux RC coexistent entre eux. Cependant, ceci peut générer des interférences. Les auteurs de [18] pensent que pour remédier à ce problème, les SU peuvent coopérer pour détecter le spectre aussi bien que pour le partager sans causer d'interférences pour le PU. Pour cela, ils proposent des schémas pour protéger les PU des interférences en contrôlant la puissance de transmission du terminal cognitif.

Dans [32][26], les auteurs proposent une coopération entre les PU et les SU et entre les SU seulement. Des agents sont déployés sur les terminaux des utilisateurs pour coopérer et aboutir à des contrats régissant l'allocation du spectre. Les agents SU coexistent et coopèrent avec les agents PU dans un environnement RC Ad hoc en utilisant des messages et des mécanismes de prise de décision. Vu que les comportements internes des agents sont coopératifs et désintéressés, ça leur permet de maximiser la fonction d'utilité des autres agents sans ajouter de coût conséquent en termes de messages échangés.

Cependant, l'allocation des ressources est un enjeu important dans les systèmes de RC. Il peut être fait en effectuant la négociation parmi les utilisateurs secondaires. Dans [16] les auteurs proposent un modèle basé sur les agents pour la négociation du spectre dans un réseau RC. Mais au lieu de négocier le spectre directement entre des PU et des SU, un agent courtier est inclus. Ce qui veut dire que l'équipement du PU ou du SU ne nécessite pas une grande intelligence vu qu'il n'a pas besoin d'effectuer la détection du spectre ou autre chose. L'objectif de cette négociation est de maximiser les bénéfices et les profits des agents pour satisfaire le SU. Les auteurs ont proposé deux situations, la première utilise un seul agent qui va exploiter et dominer le réseau, et dans la deuxième, il va y avoir plusieurs agents en concurrence.

Le SMA contient plusieurs agents intelligents en interaction entre eux. Chaque agent peut faire la détection et l'apprentissage. L'agent peut sélectionner les comportements basés sur l'information locale et tenter de maximiser les performances globales du système. Dans [17], ils ont décrit une nouvelle approche basée sur l'apprentissage par renforcement multi-agent qui est utilisée sur des réseaux RC ad-hoc avec contrôle décentralisé. En d'autres termes, ils ont mis en place plusieurs scénarios de RC et ils affectent à chaque cas une récompense ou une pénalité. Les résultats de cette approche ont montré qu'avec cette méthode, le réseau peut converger à un partage équitable du spectre et bien sur elle permet de réduire les interférences avec les utilisateurs primaires PU.

Une approche très intéressante est proposée dans [27] où les auteurs ont appliqué l'apprentissage par renforcement sur des cas uni-agent SARL et multi-agent MARL pour atteindre la sensibilité et l'intelligence. Ils montrent dans leurs résultats que les SARL et les MARL réalisent une action commune qui donne un meilleur rendement à l'échelle du réseau. Ils ont fini par dire l'apprentissage par renforcement RL est un algorithme adapté pour être appliquée dans la plupart des schémas d'application.

Les auteurs de [25] et de [30] ont utilisé les SMA pour concevoir un nouveau cycle de cognition avec les relations complexes d'interaction entres les différents PU, SU et les environnements sans fil coexistant et les chaines de Markov cachées pour modéliser les interactions entre les utilisateurs et l'environnement. Les résultats de cette approche ont montré que l'algorithme peut garantir l'équité entre les utilisateurs.

Ce qui pourrait rendre l'utilisation des SMA dans la RC intéressante et plus concrète, c'est l'existence d'une plateforme de simulation pour tester les travaux proposés. C'est ce que justement proposent les auteurs de [29]. Leur plateforme permet d'étudier l'aspect émergent et comportemental des réseaux RC hétérogènes.

IV. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons présenté diverses méthodes d'accès au spectre en partant des enchères où la fonction utilité du réseau n'est pas optimisé à chaque fois car elle dépend du comportement des utilisateurs, et passant ensuite par la théorie des jeux qui est largement utilisée dans ce domaine car elle permet d'aboutir à un équilibre entre les utilisateurs qui assure une gestion efficace du spectre. Nous avons ensuite cité quelques travaux réalisés à l'aide des modèles de Markov qui en plus des méthodes précédentes fournit une modélisation de l'interaction entre les utilisateurs secondaires et primaires. Et pour finir, nous nous sommes concentrés sur l'utilisation des systèmes multi agents dans l'accès dynamique au spectre, cependant cette méthode a été exploité par une minorité de chercheurs (en comparaison avec la théorie des jeux) pour résoudre le problème de l'allocation du spectre.

Différentes approches utilisant les SMA dans la RC sont étudiées, celles proposant une coopération entre les utilisateurs secondaires seulement, d'autres proposant une coopération entre les utilisateurs primaires et secondaires et celles proposant d'intégrer un agent courtier pour négocier le spectre, sachant que la plupart des travaux utilisent l'apprentissage par renforcement.

Dans nos futurs travaux, nous pensons pouvoir améliorer la fiabilité du lien sans fil et garantir une bonne qualité de service

aux terminaux RC mobiles [33] [34] [35] [36] en intégrant les systèmes multi agents.

REFERENCES

[1] J. Mitola and G. Maguire "Cognitive radio: Making software radios more personal'', IEEE Personal Communications, August 1999.

[2] E. hossain, D. Niyan, Zhu Han, "Dynamic Spectrum Access and management in cognitive radio networks", Cambridge University Press 2009.

[3] Gaurav, S., Kasbekar, and Sarkar, S. "Spectrum auction framework for access allocation in cognitive radio networks". IEEE.ACM Transactions on Networking, vol. 18, pp. 1841 - 1854.2010.

[4] David GRANDBLAISE. "Partage distribué et dynamique de spectre entre cellules par l'utilisation de jetons crédits". Comité National Français de Radioélectricité Scientifique. 2006.

[5] Yang, C., Li, J., and Tian, Z. "Optimal power control for cognitive radio networks under coupled interference constraints: A cooperative game-theoretic perspective". *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* vol. 59, pp. 1696-1706. 2010.

[6] Zhang, J., and Zhang, Q. "Stackelberg game for utility-based cooperative cognitive radio networks". Proceedings of ACM MOBIHOC, pp. 23-32. 2009.

[7] Niyato, D., and Hossain, E. "Competitive pricing for spectrum sharing in cognitive radio networks: dynamic game, inefficiency of Nash equilibrium, and collusion". *IEEE Transactions on Selected Areas in Communications*, vol. 308, pp. 192-202. 2008.

[8] Wang, B., Wu, Y., and Liu, K. J. R. "Game theory for cognitive radio networks: An overview". *Elsevier Computer Networks*, vol. 54, pp. 2537–2561. 2010.

[9] Yi Tan, Sengupta, S., and Subbalakshmi, K. P. "Competitive spectrum trading in dynamic spectrum access markets: A price war". Proceedings of IEEE GLOBECOM, pp. 1-5. 2010.

[10] Debbah, M. "Mobile flexible networks: The challenges ahead". Proceedings of International Conference on Advanced Technologies for Communications, invited paper, pp. 3-7. 2008.

[11] Mohamed Gafar Ahmed Elnourani. "Cognitive Radio and Game Theory: Overview And Simulation". Blekinge Institute of Technology. 2008.

[12] Xin, C., Song, M., Ma, L., Shen, C., and Hsieh, G. "On random dynamic spectrum access for cognitive radio networks". Proceedings of IEEE GLOBECOM. 2010.

[13] Zhang, Y. "Dynamic spectrum access in cognitive radio wireless networks". Proceedings of IEEE ICC, pp. 4927-4932. 2008.

[14] Gaurav, S., Kasbekar, and Sarkar, S. "Spectrum auction framework for access allocation in cognitive radio networks". IEEE.ACM Transactions on Networking, vol. 18, pp. 1841 - 1854. 2010.

[15] Raiyn, J. "Toward cognitive radio handover management based on social agent technology for spectrum efficiency performance improvement of cellular systems Personal". IEEE 19th International Symposium. 2008.

[16] Tian Chu et Al. "Spectrum Trading in Cognitive Radio Networks An Agent-based Model under Demand Uncertainty". Global Telecommunications Conference. 2010.

[17] Cheng Wu et Al. "Spectrum management of cognitive radio using multi-agent reinforcement learning". AAMAS '10 Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. 2010.

[18] Ben Letaief, K.; Wei Zhang. "Cooperative Communications for Cognitive Radio Networks". Proceedings of the IEEE. 2009.

[19] Xie, Jiang; Howitt, Ivan; Raja, Anita. "Cognitive Radio Resource Management Using Multi Agent Systems". Consumer Communications and Networking Conference. 2007.

[20] Atiq Ahmed et Al. "An agent Based Architecture for Cognitive Spectrum Management". Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12): 682-689. 2011.

[21] Emna Trigui; Moez Esseghir; Leila Merghem Boulahia. "Gestion dynamique du spectre entre terminaux radio cognitive mobiles". CFIP 2011 - Colloque Francophone sur l Ingénierie des Protocoles. 2011.

[22] Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia, Dominique Gaïti. "A Cooperative Multiagent Based Spectrum Sharing". Sixth Advanced International Conference on Telecommunications. 2010.

[23] Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia, Dominique Gaïti. "Dynamic Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks: a Solution based on Multiagent Systems". International Journal on Advances in Telecommunications, vol 3 no 3 & 4. 2010.

[24] Simon Haykin. "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless". Communications. IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 23, NO. 2. 2005.

[25] Jiandong Li; Chungang Yang. "A Markovian Game-Theoretical Power Control Approach In Cognitive Radio Networks: A Multi-Agent Learning Perspective". Wireless Communications and Signal Processing (WCSP). 2010.

[26] UsamaMir, LeilaMerghem-Boulahia, and Dominique Gaïti. "COMAS: A CooperativeMultiagent Architecture for Spectrum Sharing". EURASIP Journal onWireless Communications and Networking,Volume 2010, Article ID 987691. 2010.

[27] Yau, K.-L.A.; Komisarczuk, P.; Teal, P.D. "Enhancing Network Performance in Distributed Cognitive Radio Networks using Single-Agent and Multi-Agent Reinforcement Learning". Local Computer Networks (LCN). 2010.

[28] Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia, and Dominique Gaïti. "Utilization of a Cooperative Multiagent System in the Context of Cognitive Radio Networks". © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, LNCS 5844, pp. 100–104. 2009.

[29] Jacek Dzikowski,Cynthia Hood. "An Agent-Based Simulation Framework For Cognitive Radio Studies". Simutools '09 Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques. 2009.

[30] Usama Mir et Al. "A Continuous Time Markov Model for Unlicensed Spectrum Access". IEEE 7th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). 2011.

[31] Usama Mir, Leila Merghem-Boulahia, and Dominique Gaïti. "Multiagent Based Spectrum Sharing Using Petri Nets". Y. Demazeau et al. (Eds.): Trends in PAAMS, AISC 71, pp. 537–546. springerlink.com © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.

[32] Usama Mir. **"**Utilization of Cooperative Multiagent Systems for Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks". PHD THESES, Sep 2011.

[33] A. Amraoui, W. Baghli and B. Benmammar, "Improving video conferencing application quality for a mobile terminal through cognitive radio", 14th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT 2012). Chengdu, China, November 9th-11th, 2012.

[34] A. Amraoui, W. Baghli et B. Benmammar, "Amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour un terminal radio cognitive mobile". Dans les actes du 12 ème Journées Doctorales en Informatique et Réseau (JDIR'11). Belfort, France, 23-25 Novembre 2011. Pages : 1-6. 2011.

[35] B. Benmammar, A. Amraoui and W. Baghli, "Performance improvement of wireless link reliability in the context of cognitive radio". IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.12, No.1, January 2012. Pages: 15-22.

[36] A. Amraoui and al, "Toward cognitive radio resource management based on multi-agent systems for improvement of real-time application performance", 5th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2012). Istanbul, Turkey, May 7th-10th.