



Garantir les performances des applications temps réel en se basant sur la radio cognitive

Asma Amraoui, Badr Benmammour, Fethi Tarik Bendimerad

► To cite this version:

Asma Amraoui, Badr Benmammour, Fethi Tarik Bendimerad. Garantir les performances des applications temps réel en se basant sur la radio cognitive. International Conference on Multimedia Information Processing, Apr 2012, Mascara, Algérie. 2012. <hal-00678770>

HAL Id: hal-00678770

<https://hal.inria.fr/hal-00678770>

Submitted on 13 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.

Garantir les performances des applications temps réel en se basant sur la radio cognitive

Asma Amraoui, Badr Benmammar, Fethi Tarik Bendimerad
LTT Laboratoire de Télécommunications Tlemcen (UABT – Tlemcen)
{amraoui.asma; badr.benmammar; ftbendimerad}@gmail.com

Résumé : La demande croissante de la communication sans-fil introduit le défi de l'utilisation efficace du spectre. Pour relever ce défi, la radio cognitive (RC) est apparue comme une technologie clé; qui permet un accès opportuniste au spectre. La RC est une forme de communication sans fil dans laquelle un émetteur/récepteur peut détecter intelligemment les canaux de communication qui sont en usage et ceux qui ne le sont pas, et se déplacer instantanément dans des canaux vacants, tout en évitant ceux qui sont occupés. Cela optimise l'utilisation du spectre de radio fréquence (RF), tout en minimisant l'interférence avec les autres utilisateurs. Dans ce papier, nous proposons une nouvelle approche qui utilise la RC pour améliorer la communication sans fil pour un seul Terminal Radio Cognitive Mobile (TRCM). Nous présentons ensuite un état de l'art sur les techniques d'accès au spectre utilisant les Systèmes Multi Agent (SMA).

Mots Clés : Radio cognitive; communication sans-fil ; mobilité ; intelligence artificielle; systèmes multi agent.

1 INTRODUCTION

La radio cognitive RC a été présentée officiellement par Joseph Mitola en 1999, et depuis, ce concept a connu un grand succès auprès des chercheurs de plusieurs domaines tels que la télécommunication, l'intelligence artificielle, et même la philosophie. Joseph Mitola a défini la RC comme étant " a radio that employs model-based reasoning to achieve a specified level of competence in radio-related domains" [Mitola, 1999].

La plupart des recherches sur les réseaux RC se sont concentrées sur l'exploitation du spectre non utilisé. Cependant, les nœuds de la RC possèdent les qualités nécessaires pour faire des progrès considérables dans la fiabilité des réseaux sans fil [Neel, 2006], qui par contre a été moins explorée, et c'est pour cela que nous sommes intéressées à l'amélioration de la fiabilité du lien sans fil pour une application de visioconférence.

Le but de notre article est de proposer une technique pour améliorer la communication sans fil pour une application de vidéoconférence sur un terminal mobile utilisant la RC. Pour cela, il nous est apparu pertinent de choisir un scénario sur lequel nous allons

mettre en pratique notre approche. Pour cela, nous avons utilisé des techniques de l'apprentissage automatique. Dans ce papier, nous présentons d'abord comment des techniques de l'intelligence artificielle peuvent être utilisées dans les réseaux de RC. Ensuite, nous présentons notre contribution en expliquant notre approche et ensuite de décrire les scénarios proposés et enfin, les résultats de notre expérimentation.

2 PROBLEMATIQUE ET SOLUTIONS PROPOSEES POUR UN SEUL TRCM

La Fig.1 suivante illustre un chemin suivi par un abonné mobile quand il commute vers une zone où la qualité du signal chute à un niveau inacceptable (montré en rouge) en raison d'un écart de la couverture, nous supposons que ce client utilise la visioconférence durant ce trajet.



Figure 1 :Qualité du signal associée à une radio cognitive

2.1 Solution proposée

Après plusieurs incidents, la RC devrait être consciente du problème. Ensuite, par le biais de certaines géolocalisations ou de la capacité d'apprentissage de l'heure de la journée où cela se produit, la radio peut anticiper l'écart de la couverture et connaître le signal nécessaire à la station de base pour modifier les caractéristiques des signaux quand l'utilisateur s'approche de la couverture déficiente.

2.2 Application

Comme indiqué précédemment, nous allons utiliser la visioconférence dans le cas d'un utilisateur mobile qui doit emprunter un chemin où la qualité du signal chute à un niveau inacceptable en raison d'un écart de couverture, donnant une QoS très faible. Ceci peut être remédié en utilisant la RC, mais la problématique se pose ; *QUAND* et *POURQUOI* utiliser la radio cognitive ?

Après avoir fait des recherches sur la QoS de la visioconférence, nous avons choisi le paramètre "débit" comme critère pour notre application. Pour cela, une classification des débits est nécessaire, et vu que nous jouons le rôle de l'expert, nous avons créé notre propre base de données suivant certaines règles afin de pouvoir appliquer notre approche. La base de données a été divisée en deux parties, une pour l'apprentissage et l'autre pour le test.

Le débit est variable durant la journée même sur le même trajet, c'est pour cela que des mesures ont été prises en considération pendant 5 semaines à 3 intervalles différents de la journée (8h - 11h ; 11h - 15h ; 15h - 17h) et ceci hors week-end.

Nous avons proposé d'affecter les débits de la base aux 3 classes suivantes :

- **Gold** concerne les échantillons où le débit est supérieur à **384 Kbps**, assurant une qualité de 100% de satisfaction de l'utilisateur.
- **Silver** concerne les échantillons où le débit est entre **160 Kbps** et **384 Kbps**, de qualité acceptable.
- **Bronze** concerne les échantillons où le débit est inférieur à **160Kbps**. Ça veut dire que la visioconférence n'est pas satisfaisante, et c'est la classe qui nous intéresse le plus car c'est à ce moment que l'on doit utiliser la RC.



Figure 2 : Classes de la base de données

2.2.1 Première question QUAND ?

Pour la classification des données, nous avons utilisé trois algorithmes différents issus du domaine de l'apprentissage automatique.

- L'algorithme des K plus proches voisins (k-ppv) qui est un algorithme de classification supervisée.
- L'algorithme du perceptron multi couche (réseaux de neurones).
- L'algorithme C4.5 des arbres de décision.

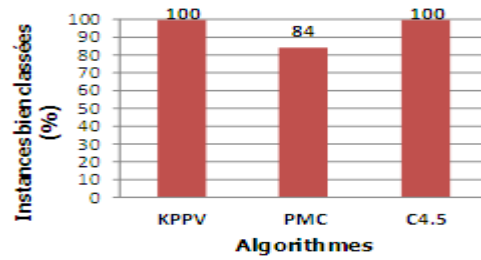


Figure 3 : Meilleurs scores obtenus

Nous remarquons que l'algorithme du perceptron multicouche n'a pas donné des résultats très satisfaisants par rapport aux autres algorithmes, d'ailleurs nous n'avons pas obtenu de 100%, malgré le changement des paramètres comme le nombre de couches cachées, le nombre d'époques et le pas d'apprentissage.

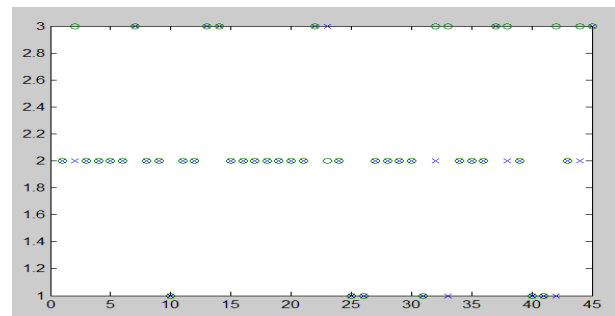


Figure 4 : Classification avec les réseaux de neurones

Nous remarquons également que les algorithmes KPPV et C4.5 ont donné des résultats de 100%, cependant, l'arbre de décision généré ne correspond pas exactement à ce qu'on veut car pour lui la classe GOLD commence à partir d'un débit de 380 Kbps au lieu de 384 Kbps, ce qui peut générer des erreurs par la suite en mal classant quelques instances.

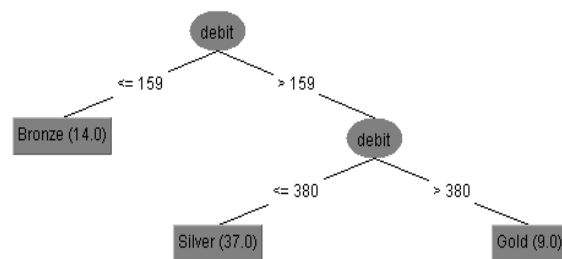


Figure 5 : Arbre de décision

Concernant l'algorithme kppv, il a été testé avec plusieurs valeurs de K sur la base de test et à chaque fois le résultat différait mais ce dernier reste satisfaisant jusqu'à la valeur de K=6. Pour notre approche, nous avons opté pour l'algorithme kppv, vu qu'il a donné les meilleurs résultats (montrés ci-dessous) en terme de fiabilité et de clusterisation.

Valeur de K	Instances correctement classées		Instances mal classées	
	Nombre	Pourcentage	Nombre	Pourcentage
K=1	20	100%	0	0%
K=2	18	90%	2	10%
K=3	18	90%	2	10%
K=4	18	90%	2	10%
K=5	18	90%	2	10%
K=6	18	90%	2	10%

Table 1 : Classification obtenue avec l'algorithme k-ppv

D'après le tableau, nous remarquons que pour $k=1$ toutes les instances ont été bien classées, mais avec $k=2$, un seul échantillon a été mal classé.

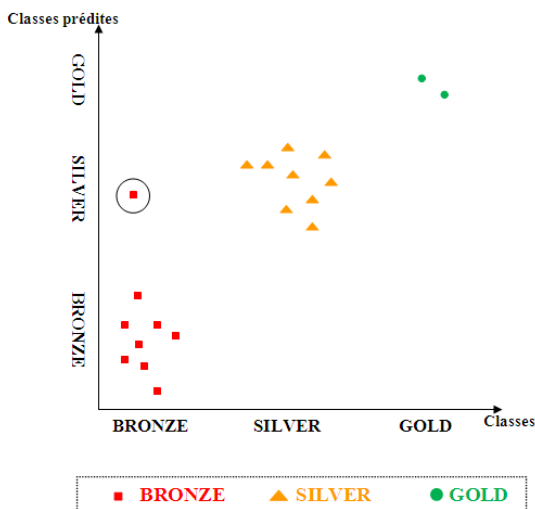


Figure 6 : Résultats de la classification avec $k=2$

Remarque : les éléments proches du seuil d'une classe sont mal classés, par exemple l'instance qui a un débit de 159 Kbps appartenant à la classe Bronze a été classée dans la Silver, pour les autres K supérieurs c'est encore plus divergent.

Constat : d'après les résultats obtenus par la classification, la radio cognitive va être activée chaque premier jour de semaine de 8h à 11h et de 15h à 17h, et chaque mercredi de 8h à 17h vu qu'à ces intervalles le débit appartient à la classe bronze < 160Kbps. Donc à travers ce résultat, la question *Quand* est répondue.

Pour avoir des règles plus générales, il serait intéressant de prendre en compte les autres paramètres de QoS de la visioconférence et de classifier ces données en utilisant d'autres méthodes de l'intelligence artificielle telles que la logique floue et les algorithmes génétiques.

2.2.2 Deuxième question POURQUOI ?

Dans ce qui suit, nous allons justifier l'utilité de la RC, ceci en supposant que la détection du spectre est déjà faite par le récepteur de notre terminal mobile qui est dans ce cas un multimode wireless communication terminal (MWCT), donc capable de supporter plusieurs technologies d'accès telles que GSM, WiMAX ou UMTS.

Vu que le spectre n'est pas utilisé à 100%, nous pouvons représenter les bandes de fréquence en deux ensembles : un qui contient les bandes occupées et l'autre qui contient les bandes libres.

Le terminal mobile doit basculer vers une fréquence libre parmi celles disponibles dans l'ensemble des bandes libres.

Pour notre approche, des scénarios ont été étudiés pour montrer l'utilité de la RC, ceci en se basant sur le nombre de bandes libres et le temps d'utilisation de chacune, nous avons pu identifier 3 scénarios possibles:

- **Favorable (meilleur des cas) :** le récepteur détecte une bande libre et l'utilise durant tout le trajet sans aucune interruption causée par l'utilisateur primaire.
- **Défavorable (pire des cas) :** le récepteur ne détecte aucune bande libre (ensemble vide) ou alors il détecte quelques bandes mais leur utilisation interfère avec les utilisateurs primaires. Dans ce cas la RC n'est pas utilisée car l'utilisateur secondaire ne doit pas déranger les utilisateurs primaires.
- **Fréquent (n fréquences avec n sauts) :** le terminal utilise une bande libre b_1 puis il y a une interruption causée par l'utilisateur primaire, donc il bascule vers une autre bande libre b_2 (il a effectué un saut). Si l'utilisateur primaire de b_2 a besoin de sa bande, l'utilisateur secondaire doit basculer une autre fois, et ainsi de suite, jusqu'à la fin de la condition où il opte pour la RC (avant de revenir à sa bande de fréquence initiale), il aura ainsi effectué n sauts.

Pour notre application, nous nous sommes basées sur le nombre de sauts effectués par la RC durant tout le trajet de l'utilisateur secondaire. Dans chacun des scénarios cités précédemment nous avons calculé le temps d'interruption qui est le temps nécessaire pour que le terminal puisse accéder à une bande libre et l'utiliser.

Le temps d'interruption sera défini ainsi : $T_{\text{interruption}} = (T_{\text{detection}} + T_{\text{etablissement}}) \times \text{nombre de sauts}$.

Le temps de détection est le temps nécessaire pour détecter une bande libre, il est négligeable par rapport au temps d'établissement, il est même inclus au temps d'établissement pour certains algorithmes qui traitent le handover diagonal (passage entre réseaux sans fil qui utilisent des technologies sous-jacentes communes comme la norme IEEE 802) ou le handover vertical (passage d'une technologie d'accès à une autre).

Dans la littérature, nous avons trouvé que le temps d'établissement nécessaire pour exploiter une bande de fréquence libre d'une autre technologie est de 5 secondes en moyenne [Busanelli, 2011] et [Daia, 2008].

$T_{\text{detection}} \ll T_{\text{etablissement}}$, ce qui nous donne :

$T_{\text{interruption}} = T_{\text{etablissement}} \times \text{nombre de sauts}$.

On appelle temps de rupture : le temps nécessaire pour revenir à la bande de fréquence initiale, soit la somme du temps d'interruption et du temps d'utilisation de chaque bande, sachant que le temps d'utilisation peut différer d'une bande à une autre selon l'utilisateur primaire. **$T_{\text{rupture}} = T_{\text{interruption}} + T_{\text{utilisation}}$**

2.2.3 Résultats de l'expérimentation

Pour appuyer notre proposition et mieux comprendre cela, nous avons comparé la QoS avec et sans la radio cognitive (cas sans radio cognitive signifie que le terminal concerné possède une seule technologie d'accès et utilise la même bande de fréquence).

Les graphes ci-dessous illustrent cette comparaison. Afin qu'ils soient lisibles, nous avons supposé que le temps de rupture maximal est de 5 min et que l'ensemble des bandes libres contient 7 bandes.

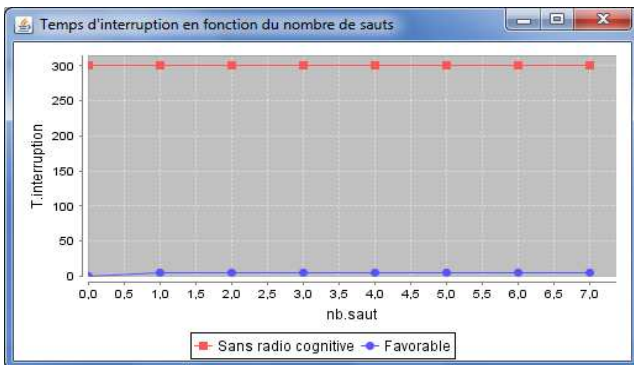


Figure 7 : Comparaison entre le scénario favorable et le cas sans radio cognitive

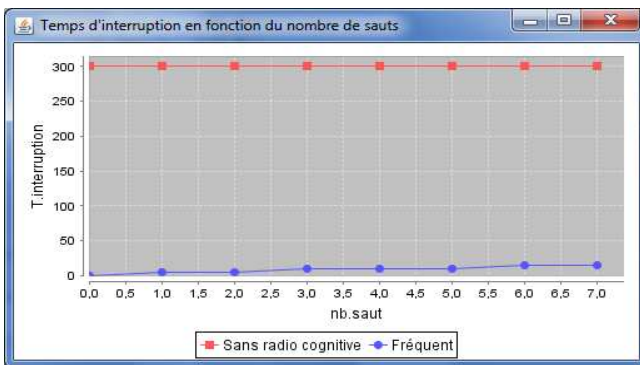


Figure 8 : Comparaison entre le scénario fréquent et le cas sans radio cognitive

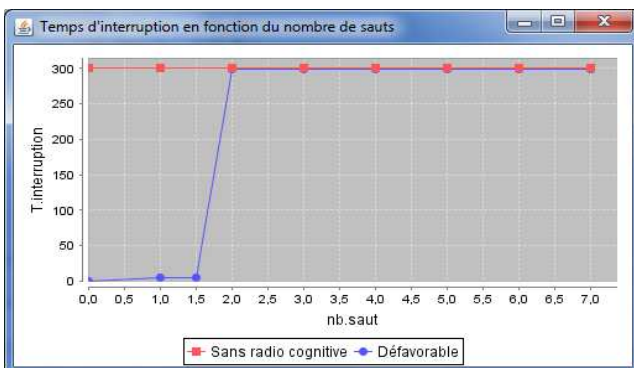


Figure 9 : Comparaison entre le scénario défavorable et le cas sans radio cognitive

2.2.4 Interprétation des résultats

Les graphes modélisés ci-dessus représentent le temps d'interruption en fonction du nombre de sauts effectué. Nous remarquons que quelque soit le nombre de sauts, le cas avec la RC reste bien meilleur que celui sans RC.

D'après le premier graphe, certes nous avons perdu 5 secondes pour se connecter à la nouvelle bande mais on voit que la RC nous a fait gagner 295s qui est le temps sans interruption.

Pour le deuxième graphe, nous avons effectué 3 sauts, c'est-à-dire que le temps d'interruption est de 5s x 3 sauts : 15s. Malgré cela, le cas avec RC reste toujours meilleur.

Concernant le troisième graphe, un seul saut a été effectué mais la connexion a été interrompue par l'utilisateur primaire dès le début, donc nous avons profité de la RC durant quelques secondes.

Résultat : quel que soit le nombre de sauts effectués, l'utilisation de la radio cognitive reste toujours plus efficace.

3 ACCES DYNAMIQUE AU SPECTRE EN UTILISANT LES SMA

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 [Atiq, 2011], 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 sûr 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 [Mir1, 2010]. 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 sûr le PU concerné doit répondre à ces agents pour faire un accord sur le partage du spectre. Et bien sûr 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 [Letaif, 2009] 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 [Mir,2011][Mir, 2010], 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 [Tian, 2010] 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 [Cheng, 2010], 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 [Yau, 2010] 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 [Li, 2010] et de [Mir2, 2011] ont utilisé les SMA pour concevoir un nouveau cycle de cognition avec les relations complexes d'interaction entre les différents PU, SU et les environnements sans fil coexistant et les chaînes 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 [Dzikowski, 2009]. Leur plateforme permet d'étudier l'aspect émergent et comportemental des réseaux RC hétérogènes.

4 CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article une nouvelle approche qui utilise la radio cognitive pour améliorer la communication sans fil pour un terminal radio cognitive mobile en assurant une meilleure qualité de service pour les applications de visioconférence. Notre contribution est positionnée dans l'apprentissage des événements (machine learning).

Notre rôle d'expert nous a permis de choisir le paramètre débit pour effectuer une classification qui permet au terminal utilisé d'acquérir de l'expérience pour les prochains événements, c'est-à-dire qu'il saura l'heure et la date durant la quelle il activera la radio cognitive.

L'utilité de la radio cognitive est une hypothèse qu'on a pu prouver en se basant sur le temps nécessaire pour qu'une connexion à une nouvelle bande de fréquence s'établisse et ceci quel que soit le nombre de bandes de fréquences qu'un terminal utilise pour remédier à un échec de connexion.

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.

Nous pensons aussi que nous pouvons gérer intelligemment les ressources radio dans le cadre des réseaux RC. Pour cela, différentes techniques sont envisagées telles que les algorithmes de coopération et de négociation dans le cadre multi-agents [Cheng, 2010] [Jiang, 2007] afin d'assurer une allocation plus efficace du spectre [Amraoui, 2011] [Amraoui, 2012] [Benmammar, 2012].

Dans nos futurs travaux, nous chercherons également à réduire l'impact de la mobilité sur les communications radio cognitive par construction de modèles de

prédiction de la mobilité en se référant à des travaux déjà réalisés comme ceux de [Benmammar, 2005] et [Samaan, 2005].

BIBLIOGRAPHIE

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

[Amraoui, 2012] Amraoui, W. Baghli and B. Benmammar, "Improving Video Conferencing Application Quality for a Mobile Terminal through Cognitive Radio", Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Communication Technology (ICCT 2012). Chengdu, China, November 9th-11th, 2012. To appear

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

[Benmammar, 2005] B. Benmammar and F. Krief. "MQoS NSLP: a mobility profile management based approach for advance resource reservation in a mobile environment". Proceedings of the 7th IFIP IEEE International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2005). Marrakech, Morocco. September 19-21, 2005.

[Benmammar, 2012] 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.01, January, 2012, pp. 15-22. ISSN : 1738-7906.

[Busanelli, 2011] S. Busanelli, M. Martalò, G. Ferrari, and G. Spigoni, "Vertical Handover between WiFi and UMTS Networks: Experimental Performance Analysis", International Journal of Energy, Information and Communications Vol. 2, Issue 1, February 2011.

[Cheng, 2010] Cheng Wu, Kaushik Chowdhury, Marco Di Felice, Waleed Meleis, "Spectrum Management of Cognitive Radio Using Multi-agent Reinforcement Learning", the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems: Industry track. Montréal, Canada .May 10-14, 2010.

[Daia, 2008] Z. Daia, R. Fracchiaa, J. Gosteaub, P. Pellatia, G. Viviera, "Vertical handover criteria and algorithm in IEEE 802.11 and 802.16 hybrid networks", Laboratoire de Motorola Paris. May, 30, 2008

[Dzikowski, 2009] 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.

[Jiang, 2007] Jiang Xie, Ivan Howitt, and Anita Raja, "Cognitive Radio Resource Management Using Multi-Agent Systems", Consumer Communications and Networking Conference, 2007. CCNC 2007. 4th IEEE.

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

[Li, 2010] 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.

[Mir, 2010] Usama Mir, Leila Merghem-Boulaiah, and Dominique Gaiti. "COMAS: A Cooperative Multiagent Architecture for Spectrum Sharing". EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Volume 2010, Article ID 987691. 2010.

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

[Mir1, 2010] Usama Mir, Leila Merghem-Boulaiah, Dominique Gaiti. "A Cooperative Multiagent Based Spectrum Sharing". Sixth Advanced International Conference on Telecommunications. 2010.

[Mir2, 2011] 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.

[Mitola, 1999] J. Mitola, Cognitive radio – model-based competence for software radios, Licentiate Thesis, KTH, Stockholm (September 1999).

[Neel, 2006] J. Neel, "Analysis and Design of Cognitive Radio Networks and Distributed Radio Resource Management Algorithms", Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, September 2006.

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

[Samaan, 2005] N. Samaan, B. Benmammar, F. Krief and A. Karmouch. "Prediction-based Advanced Resource Reservation in a Mobile Environment". 18th IEEE Annual Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, CCECE05, May 1-4, 2005, Saskatoon Inn, Saskatoon, Saskatchewan Canada.

[Yau, 2010] 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.