



HAL
open science

Présentation de la radio cognitive

Badr Benmammar

► **To cite this version:**

| Badr Benmammar. Présentation de la radio cognitive. 3rd cycle. 2012. cel-00680189v1

HAL Id: cel-00680189

<https://cel.hal.science/cel-00680189v1>

Submitted on 18 Mar 2012 (v1), last revised 25 Mar 2012 (v2)

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.

Présentation de la radio cognitive

Badr Benmammour

badr.benmammour@gmail.com

Plan

- ❑ Radio logicielle (software radio)
 - ❑ Radio logicielle restreinte (SDR)
- ❑ Radio cognitive (RC)
 - ❑ Historique
 - ❑ Définition
 - ❑ Relation entre RC et SDR
 - ❑ Architecture
 - ❑ Cycle de cognition
 - ❑ Composantes
 - ❑ Fonctions
 - ❑ Détection du spectre (*Spectrum sensing*)
 - ❑ Gestion du spectre (*Spectrum management*)
 - ❑ Mobilité du spectre (*Spectrum mobility*)

Radio logicielle (software radio)

- ❑ Travaux de Joseph Mitola (1991): **définir une classe de radio reprogrammable et reconfigurable.**
- ❑ **Définition :** La radio logicielle est une radio dans laquelle les fonctions typiques de l'interface radio généralement réalisées en matériel, telles que la fréquence porteuse, la largeur de bande du signal, la modulation et l'accès au réseau sont réalisés sous forme logicielle. La radio logicielle moderne intègre également l'implantation logicielle des procédés de cryptographie, codage correcteur d'erreur, codage source de la voix, de la vidéo ou des données.
- ❑ Le concept de radio logicielle doit également être considéré comme une manière de rendre les usagers, les fournisseurs de services et les fabricants plus indépendants des normes. Ainsi, avec cette solution, les interfaces radio peuvent, en principe, être adaptées aux besoins d'un service particulier pour un usager particulier dans un environnement donné à un instant donné.

Radio logicielle restreinte (SDR)

- ❑ On distingue plusieurs niveaux d'avancement dans le domaine : la radio logicielle est le but ultime intégrant toute les fonctionnalités en logiciel, mais elle impose des phases intermédiaires combinant anciennes et nouvelles techniques, on parle alors de **radio logicielle restreinte** (software defined radio). Les contraintes de puissance de calcul, de consommation électrique, de coûts, etc. imposent actuellement de passer par cette phase intermédiaire.
- ❑ **La radio logicielle restreinte** est un système de communication radio qui peut s'adapter à n'importe quelle bande de fréquence et recevoir n'importe quelle modulation en utilisant le même matériel.
- ❑ Les opportunités qu'offre le SDR lui permettent de résoudre des problèmes de la gestion dynamique du spectre. Les équipements SDR peuvent fonctionner dans des réseaux sans fil hétérogènes c'est-à-dire qu'un SDR idéal peut s'adapter automatiquement aux nouvelles fréquences et aux nouvelles modulations.

Radio cognitive

- ❑ L'idée de la radio cognitive a été présentée officiellement par Joseph Mitola III 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.
- ❑ Mitola combine son expérience de la radio logicielle ainsi que sa passion pour l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle pour mettre en place la technologie de la radio cognitive. D'après lui : **Une radio cognitive peut connaître, percevoir et apprendre de son environnement puis agir pour simplifier la vie de l'utilisateur.**
- **Le terme radio cognitive (CR)** est utilisé pour décrire un système ayant la capacité de détecter et de reconnaître son cadre d'utilisation, ceci afin de lui permettre d'ajuster ses paramètres de fonctionnement radio de façon dynamique et autonome et d'apprendre des résultats de ses actions et de son cadre environnemental d'exploitation.

Radio cognitive

- ❑ **La radio cognitive** 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 dans les canaux inutilisés. Ceci permet d'optimiser l'utilisation des fréquences radio disponibles (RF) du spectre tout en minimisant les interférences avec d'autres utilisateurs.
- ❑ Cette capacité permet d'adapter chaque appareil aux conditions spectrales du moment et offre donc aux utilisateurs un accès plus souple, efficace et complet à cette ressource. Cette approche peut améliorer considérablement le débit des données et la portée des liaisons sans augmenter la bande passante ni la puissance de transmissions. La radio cognitive offre également une solution équilibrée au problème de l'encombrement du spectre en accordant d'abord l'usage prioritaire au propriétaire du spectre, puis en permettant à d'autres de se servir des portions inutilisées du spectre.

Radio cognitive

- ❑ Le principe de la radio cognitive, repris dans la norme **IEEE 802.22**, nécessite une gestion alternative du spectre qui est la suivante : un mobile dit secondaire pourra à tout moment accéder à des bandes de fréquence qu'il juge libre, c'est-à-dire, non occupées par l'utilisateur dit primaire possédant une licence sur cette bande. L'utilisateur secondaire devra les céder une fois le service terminé ou une fois qu'un utilisateur primaire aura montré des velléités de connexion.
- ❑ On entreprend actuellement de modifier la norme IEEE 802.16 (WiMAX) par le biais de la norme IEEE 802.16h afin de prendre en charge la coexistence et la collaboration dans le même canal. La norme IEEE 802.22, qui vise la coexistence avec les microphones et les systèmes de télévision, présente des caractéristiques semblables. Les deux normes mettent en application les techniques de la radio cognitive.
- ❑ Un Réseau Cognitif coordonne les transmissions suivant différentes bandes de fréquences et différentes technologies en exploitant les bandes disponibles à un instant donné et à un endroit donné. Il a besoin d'une station de base capable de travailler sur une large gamme de fréquences afin de reconnaître différents signaux présents dans le réseau et se reconfigurer intelligemment.

Relation entre RC et SDR

- ❑ L'une des principales caractéristiques de la radio cognitive est la capacité d'adaptation où les paramètres de la radio (fréquence porteuse, puissance, modulation, bande passante) peuvent être modifiés en fonction de :
 - ❑ L'environnement radio
 - ❑ La situation
 - ❑ Les besoins de l'utilisateur
 - ❑ L'état du réseau
 - ❑ La géo localisation
 - ❑ ...

- ❑ La radio logicielle est capable d'offrir les fonctionnalités de flexibilité, de reconfigurabilité et de portabilité inhérentes à l'aspect d'adaptation de la radio cognitive. Par conséquent, cette dernière doit être mise en œuvre autour d'une radio logicielle. En d'autres termes, **la radio logicielle est une "technologie habilitante" pour la radio cognitive.**

Relation entre RC et SDR

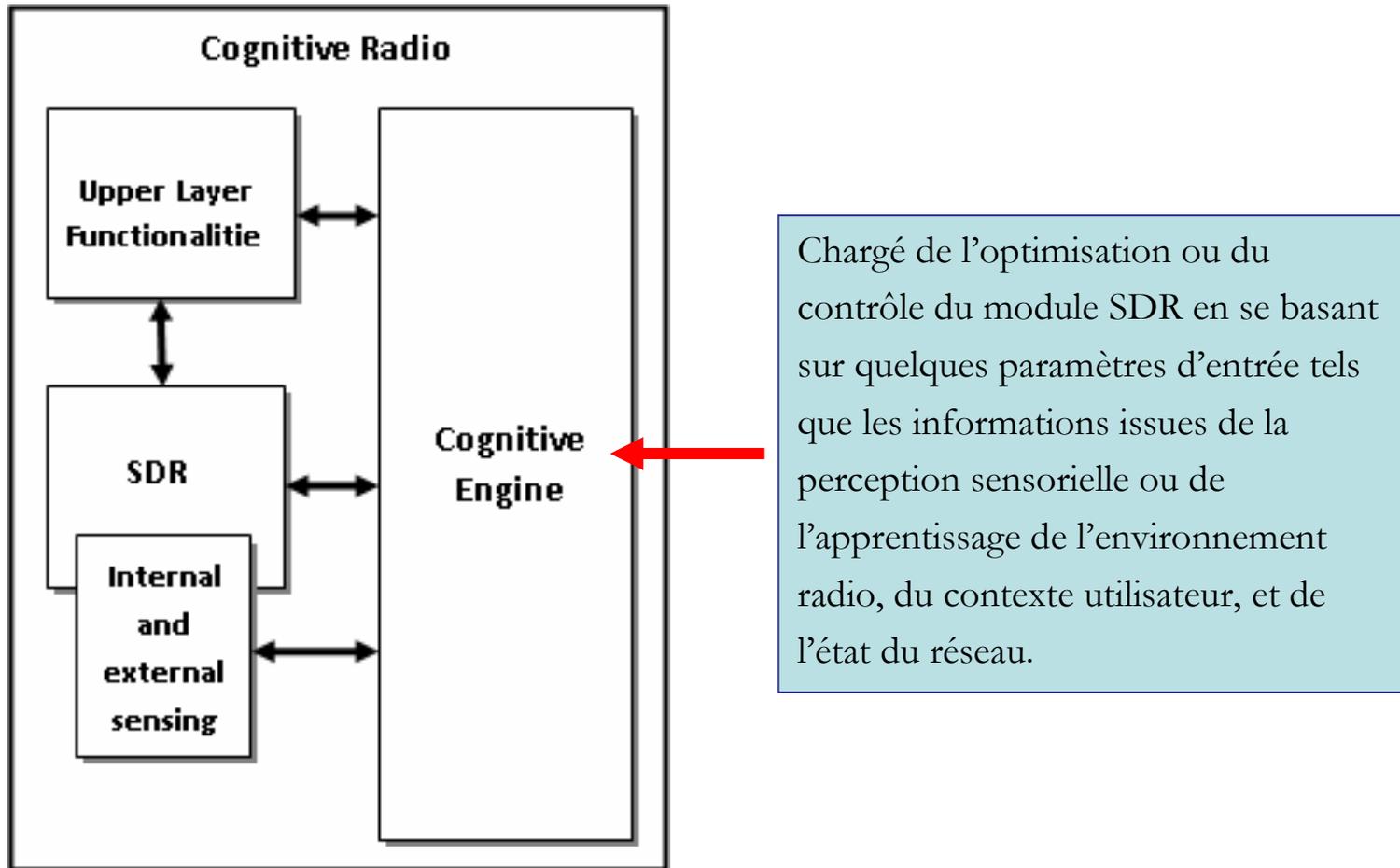


Figure 1 : Relation entre la radio cognitive et la radio logicielle restreinte

Architecture de la RC

- Mitola a défini l'architecture d'une radio cognitive par un ensemble cohérent de règles de conception par lequel un ensemble spécifique de composants réalise une série de fonctions de produits et de services.

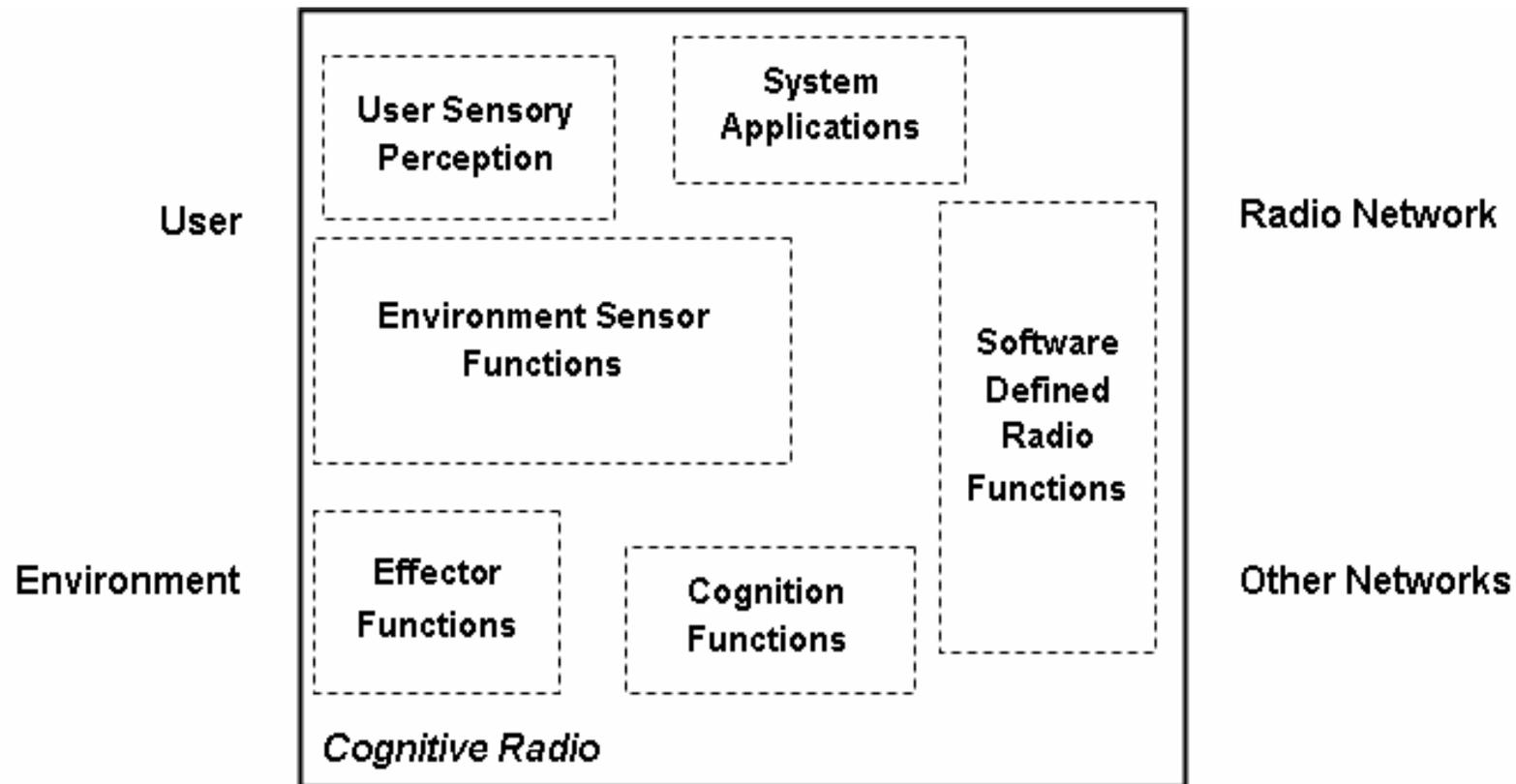


Figure 2 : Architecture de la radio cognitive

Architecture de la RC

- ❑ Les six composantes fonctionnelles de l'architecture d'une radio cognitive sont:
 - ❑ La perception sensorielle (Sensory Perception : SP) de l'utilisateur qui inclut l'interface haptique (du toucher), acoustique, la vidéo et les fonctions de détection et de la perception.
 - ❑ Les capteurs de l'environnement local (emplacement, température, accéléromètre, etc.).
 - ❑ Les applications système (les services médias indépendants comme un jeu en réseau).
 - ❑ Les fonctions SDR (qui incluent la détection RF et les applications radio de la SDR).
 - ❑ Les fonctions de la cognition (pour les systèmes de contrôle, de planification, d'apprentissage).
 - ❑ Les fonctions locales effectrices (synthèse de la parole, du texte, des graphiques et des affiches multimédias).

Protocoles utilisés par la radio cognitive

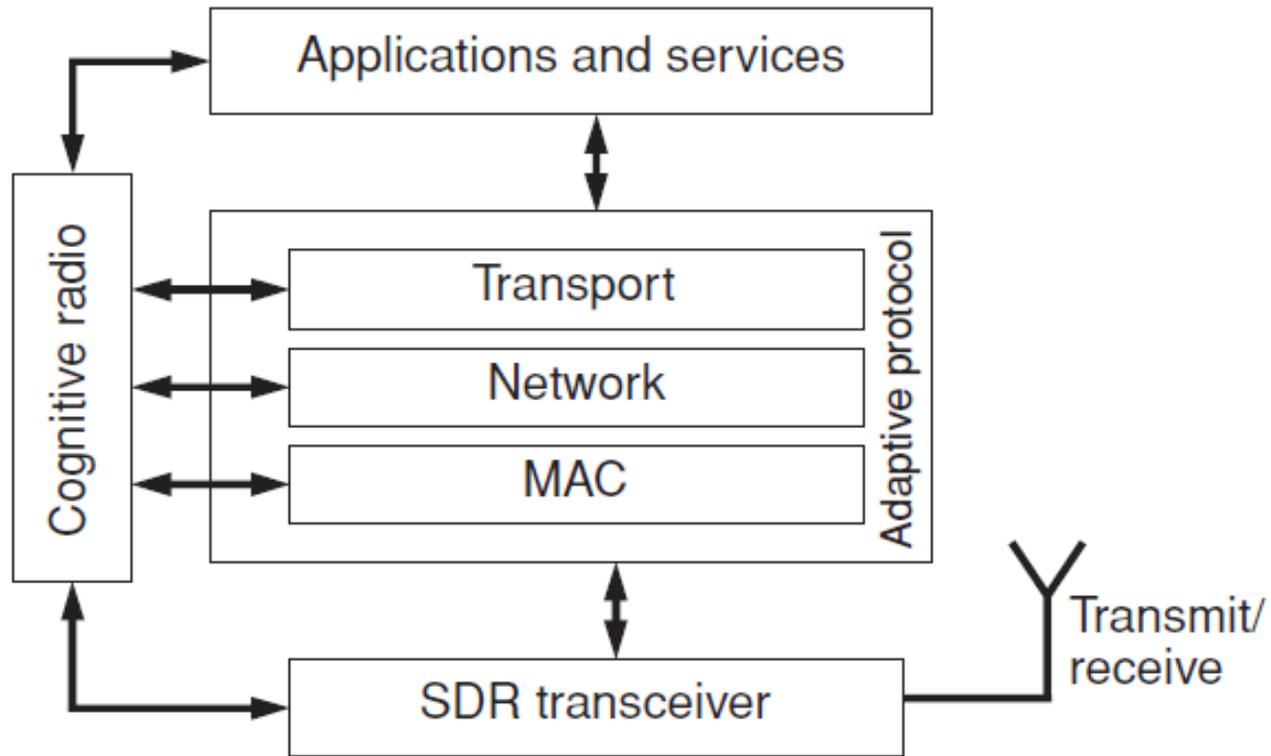


Figure 3 : Protocoles utilisés par la radio cognitive

Protocoles utilisés par la radio cognitive

- ❑ Dans la couche physique, le RF est mis en œuvre à base de radio définie par logiciel. Les protocoles d'adaptation de la couche MAC, réseau, transport, et applications doivent être conscients des variations de l'environnement radio cognitif. En particulier, les protocoles d'adaptation devraient envisager l'activité du trafic des principaux utilisateurs, les exigences de transmission d'utilisateurs secondaires, et les variations de qualité du canal...
- ❑ Pour relier tous les modules, un contrôle radio cognitif est utilisé pour établir des interfaces entre l'émetteur/récepteur SDR et les applications et services sans fil. Ce module radio cognitif utilise des algorithmes intelligents pour traiter le signal mesuré à partir de la couche physique, et de recevoir des informations sur les conditions de transmission à partir des applications pour contrôler les paramètres de protocole dans les différentes couches.

Cycle de cognition

- ❑ La composante cognitive de l'architecture de la radio cognitive comprend une organisation temporelle, des flux d'inférences et des états de contrôle.
- ❑ Ce cycle synthétise cette composante de manière évidente. Les stimuli entrent dans la radio cognitive comme des interruptions sensorielles envoyées sur le cycle de la cognition pour une réponse. Une telle radio cognitive observe l'environnement, s'oriente, crée des plans, décide, et puis agit.

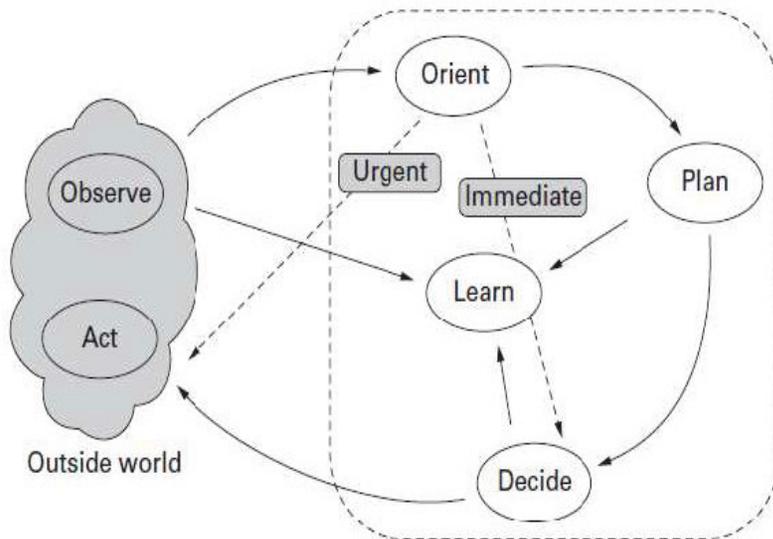


Figure 4 : Cycle de cognition de Mitola

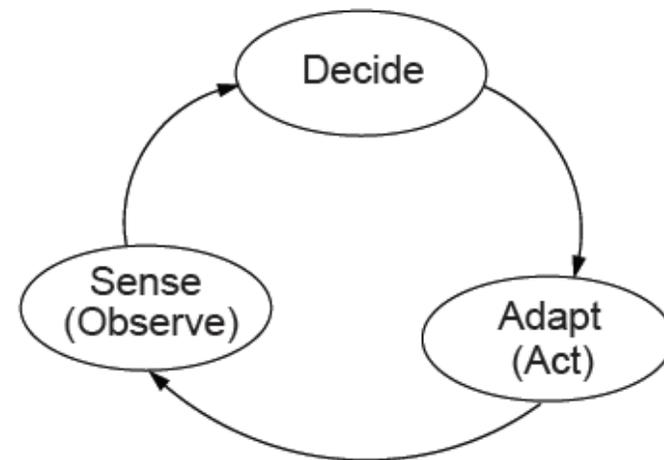


Figure 5 : Cycle de cognition simplifié

Cycle de cognition

❑ Phase d'observation (détecter et percevoir)

- ❑ La RC observe son environnement par l'analyse du flux de stimuli entrant. Dans la phase d'observation, la RC associe l'emplacement, la température, le niveau de lumière des capteurs, et ainsi de suite pour en déduire le contexte de communication. Cette phase lie ces stimuli à des expériences antérieures pour discerner les modèles au fil du temps. La radio cognitive rassemble les expériences en se souvenant de tout.

❑ Phase d'orientation

- ❑ La phase d'orientation détermine l'importance d'une observation en liant à celle-ci une série connue de stimuli. Cette phase fonctionne à l'intérieur des structures de données qui sont analogues à la mémoire à court terme (STM), que les gens emploient pour s'engager dans un dialogue sans forcément se souvenir de tout à la même mesure que dans la mémoire à long terme (LTM). Le milieu naturel fournit la redondance nécessaire pour lancer le transfert de la STM à la LTM. La correspondance entre les stimuli courants et les expériences stockées se fait par reconnaissance des stimuli ou par reliure.

Cycle de cognition

❑ Phase de planification

- ❑ La plupart des stimuli sont traités avec délibérative plutôt qu'avec réactivité. Un message entrant du réseau serait normalement traité par la génération d'un plan (dans la phase de plan, la voie normale). Le plan devrait également inclure la phase de raisonnement dans le temps. Généralement, les réponses réactives sont préprogrammées ou apprises en étant dit, tandis que d'autres réactions de délibération sont prévues.

❑ Phase de décision

- ❑ La phase de décision sélectionne un plan parmi les plans candidats. La radio peut alerter l'utilisateur d'un message entrant ou reporter l'interruption à plus tard en fonction des niveaux de QoI (Quality of Information) statués dans cette phase.

❑ Phase d'action

- ❑ Cette phase lance les processus sélectionnés qui utilisent les effecteurs sélectionnés qui accèdent au monde extérieur ou aux états internes de la radio cognitive. L'accès au monde extérieur consiste principalement à composer des messages qui doivent être envoyés dans l'environnement en audio ou exprimés dans différents langages appropriés.

Cycle de cognition

□ Phase d'apprentissage

- L'apprentissage dépend de la perception, des observations, des décisions et des actions. L'apprentissage initial est réalisé à travers la phase d'observation dans laquelle toutes les perceptions sensorielles sont continuellement comparées à l'ensemble de l'expérience antérieure pour continuellement compter les événements et se souvenir du temps écoulé depuis le dernier événement.
- L'apprentissage peut se produire quand un nouveau modèle est créé en réponse à une action. Par exemple, les états internes antérieurs et courants peuvent être comparés avec les attentes pour en apprendre davantage sur l'efficacité d'un mode de communication.

Composantes de la radio cognitive

- ❑ Les différentes composantes d'un émetteur/récepteur radio cognitive qui mettent en œuvre ces fonctionnalités sont présentées dans la figure ci-dessous.

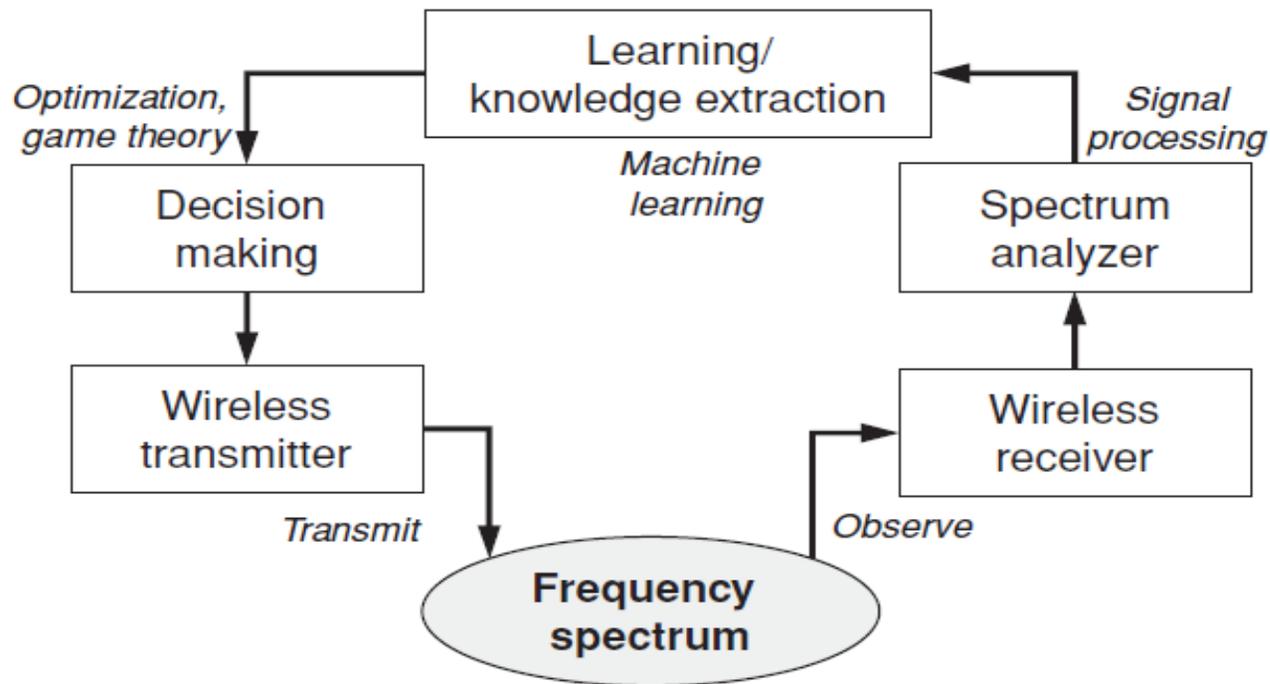


Figure 6 : Composante de la radio cognitive

Composantes de la radio cognitive

- ❑ **Emetteur / Récepteur:** un émetteur/récepteur SDR sans fil est le composant majeur avec les fonctions du signal de transmission de données et de réception. En outre, un récepteur sans fil est également utilisé pour observer l'activité sur le spectre de fréquence (spectre de détection).
 - ❑ Les paramètres émetteur/récepteur dans le nœud de la radio cognitive peuvent être modifiés dynamiquement comme dicté par les protocoles de couche supérieure.

- ❑ **Analyseur de spectre (Spectrum analyser):** L'analyseur de spectre utilise les signaux mesurés pour analyser l'utilisation du spectre (par exemple pour détecter la signature d'un signal provenant d'un utilisateur primaire et trouver les espaces blancs du spectre pour les utilisateurs secondaires).
 - ❑ L'analyseur de spectre doit s'assurer que la transmission d'un utilisateur primaire n'est pas perturbée si un utilisateur secondaire décide d'accéder au spectre. Dans ce cas, diverses techniques de traitement du signal peuvent être utilisées pour obtenir des informations sur l'utilisation du spectre.

Composantes de la radio cognitive

- ❑ **Extraction de connaissances et apprentissage (Knowledge extraction/learning):** L'apprentissage et l'extraction de connaissances utilisent les informations sur l'utilisation du spectre pour comprendre l'environnement ambiant RF (par exemple le comportement des utilisateurs sous licence). Une base de connaissances de l'environnement d'accès au spectre est construite et entretenue, qui est ensuite utilisée pour optimiser et adapter les paramètres de transmission pour atteindre l'objectif désiré sous diverses contraintes. Les algorithmes d'apprentissage peuvent être appliqués pour l'apprentissage et l'extraction de connaissances.
- ❑ **Prise de décision (Decision making):** Après que la connaissance de l'utilisation du spectre soit disponible, la décision sur l'accès au spectre doit être faite. La décision optimale dépend du milieu ambiant, elle dépend du comportement coopératif ou compétitif des utilisateurs secondaires. Différentes techniques peuvent être utilisées pour obtenir une solution optimale.

Fonctions de la radio cognitive

- ❑ Les principales fonctions de la radio cognitive sont les suivantes:
- ❑ **Détection du spectre (Spectrum sensing)**
 - ❑ Détecter le spectre non utilisé et le partager sans interférence avec d'autres utilisateurs. La détection des utilisateurs primaires est la façon la plus efficace pour détecter les espaces blancs du spectre.
 - ❑ 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 utilisateur secondaires 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.
- ❑ **Gestion du spectre (Spectrum management)**
 - ❑ Capter les meilleures fréquences disponibles pour répondre aux besoins de communication des utilisateurs.
 - ❑ Les radios cognitives devraient décider de la meilleure bande de spectre 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 radios cognitives. Ces fonctions de gestion peuvent être classées comme suit:

Fonctions de la radio cognitive

❑ Analyse du spectre :

- ❑ Les résultats obtenus de la détection du spectre sont analysés pour estimer la qualité du spectre. Une des questions ici est de savoir comment mesurer la qualité du spectre qui peut être accédée par un utilisateur secondaire.
- ❑ Cette qualité peut être caractérisée par le rapport signal/bruit, la durée moyenne et la corrélation de la disponibilité des espaces blancs du spectre. Les informations sur cette qualité de spectre disponible à un utilisateur par radio cognitive 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 radio cognitive pour l'analyse du spectre.

❑ Décision sur le spectre :

- ❑ **Modèle de décision:** 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 utilisateur secondaire a des objectifs multiples. Par exemple, un utilisateur secondaire peut avoir l'intention de maximiser son rendement tout en minimisant les perturbations causées à l'utilisateur primaire. Les méthodes d'optimisation stochastique (le processus de décision de Markov) seront un outil intéressant pour modéliser et résoudre le problème d'accès au spectre dans un environnement radio cognitif.

Fonctions de la radio cognitive

- ❑ **Compétition / coopération dans un environnement multi utilisateurs** : Lorsque plusieurs utilisateurs (à la fois primaires et secondaires) sont dans le système, leur préférence va influencer sur la décision du spectre d'accès. Ces utilisateurs peuvent être coopératifs ou non coopératifs dans l'accès au spectre.
- ❑ **Dans un environnement non-coopératif**, chaque utilisateur a son propre objectif, tandis que dans un environnement coopératif, tous les utilisateurs peuvent collaborer pour atteindre un seul objectif. Par exemple, plusieurs utilisateurs secondaires peuvent entrer en compétition les uns avec les autres pour accéder au spectre radio (par exemple, O1, O2, O3, O4 dans la figure ci-dessous) de sorte que leur débit individuel soit maximisé. Au cours de cette concurrence entre les utilisateurs secondaires, tous veillent à ce que l'interférence causée à l'utilisateur primaire est maintenue en dessous de la limite de température de brouillage correspondante. La théorie des jeux est l'outil le plus approprié pour obtenir la solution d'équilibre pour le problème du spectre dans un tel scénario.
- ❑ **Dans un environnement coopératif**, les radios cognitives coopèrent les unes avec les autres pour prendre une décision pour accéder au spectre et de maximiser une fonction objectif commune en tenant compte des contraintes. Dans un tel scénario, un contrôleur central peut coordonner le spectre de gestion.

Fonctions de la radio cognitive

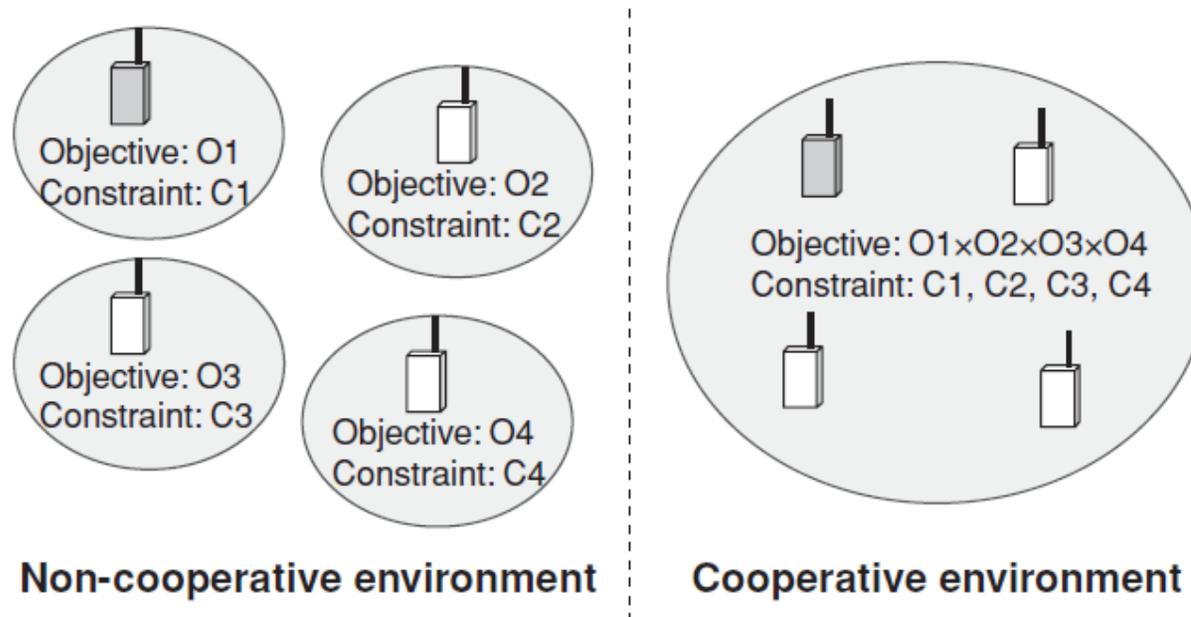


Figure 7 : Accès au spectre Coopératif et non-coopératif

Fonctions de la radio cognitive

- ❑ **Mise en œuvre distribuée du contrôle d'accès au spectre** : Dans un environnement multi utilisateur distribué, pour un accès non-coopératif au spectre, chaque utilisateur peut parvenir 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 utilisateur secondaire pour prendre la décision sur l'accès au spectre de manière autonome.
- ❑ **Mobilité du spectre (Spectrum mobility)**
- ❑ C'est le processus qui permet à l'utilisateur de la RC de changer sa fréquence de fonctionnement. Les réseaux radio cognitifs essayent d'utiliser 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.
 - ❑ **Recherche des meilleures bandes de fréquence** : La RC doit garder une trace des bandes de fréquence disponibles de sorte que si nécessaire (par exemple, un utilisateur autorisé est détecté), il peut passer immédiatement à d'autres bandes de fréquences. Lors de la transmission par un utilisateur secondaire, l'état de la bande de fréquences doit être respecté.
 - ❑ **Auto-coexistence et synchronisation** : Quand un utilisateur secondaire effectue un transfert du spectre, deux questions doivent être prises en compte. Le canal cible ne doit pas être actuellement utilisé par un autre utilisateur secondaire (l'exigence d'auto-coexistence), et le récepteur de la liaison secondaire correspondant doit être informé de la non-intervention du spectre (la demande de synchronisation).

Nos publications dans le domaine de la RC

- ❑ Asma Amraoui, Fatima zohra Benidris, **Badr Benmammam**, Francine Krief and Fethi Tarik Bendimerad. "Toward cognitive radio resource management based on multi-agent systems for improvement of real-time application performance". Proceedings of the Fifth IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS'2012). Istanbul, Turkey.7-10 May 2012.
- ❑ **B. Benmammam**, 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.
- ❑ A. Amraoui, W. Baghli and **B. Benmammam**, "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.
- ❑ A. Amraoui, W. Baghli et **B. Benmammam**, "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.

Publications relatives à nos travaux

- ❑ Zeina Jrad, **Badr Benmammam**, Joseph Corr ea, Francine Krief, Nader Mbarek. "A User Assistant for QoS Negotiation in a Dynamic Environment Using Agent Technology". Proceedings of the Second IEEE and IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks WOCN 2005. March 6 - 8, 2005, Hyatt Regency Hotel, Dubai, United Arab Emirates UAE, Print ISBN: 0-7803-9019-9.
- ❑ **B. Benmammam** and F. Krief. "Resource Management for End-to-End QoS in a Mobile Environment". 2nd *IEEE* INTERNATIONAL CONFERENCE ON Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (**WiMob 2006**). Montréal, Canada. June 19-21, 2006.
- ❑ N. Samaan, **B. Benmammam**, 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.
- ❑ **B. Benmammam** 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.
- ❑ Z. Jrad, F. Krief and **B. Benmammam**. "An Intelligent User Interface for the Dynamic Negotiation of QoS". Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Telecommunications. ICT'2003. Papeete, Tahiti. February 2003, Print ISBN: 0-7803-7661-7.