



L'ÉLECTROMAGNÉTISME, 150-1 UNE SCIENCE EN PLEINE ACTION !

**Titre (français) : Mieux analyser les ondes pour mieux communiquer :
la radio intelligente**

**Title (English): Better analyze waves in order to better communicate:
cognitive radio**

Christophe Moy, Jacques Palicot**

**SUPELEC/IETR {christophe.moy, jacques.palicot}@supelec.fr*

Mots-clefs : *Radio intelligente, fréquence, spectre (cognitive radio, frequency, spectrum)*

Résumé

Au-delà de leur rôle de transport des communications, les ondes électromagnétiques représentent également une source d'informations importante sur l'environnement d'une liaison radio. La radio intelligente vise à exploiter toutes ces informations afin d'en tirer bénéfice, notamment pour mieux exploiter le spectre fréquentiel. Pour cela un équipement de radio intelligente doit être muni de capteurs lui permettant de recueillir ces informations électromagnétiques d'une part et de moyens d'apprentissage et d'analyse de l'information ainsi récoltée d'autre part. Il peut en déduire alors comment il doit se reconfigurer afin de mieux s'adapter à l'environnement qu'il perçoit. Nous proposons dans cet article de donner des exemples de capteurs et d'algorithmes de prise de décision qu'un équipement de radio intelligente pourra intégrer en lien avec son environnement électromagnétique.

Introduction

Cela fait un peu plus de cent ans que les ondes ont relié des hommes par delà les continents. Pourtant, ce n'est que très peu d'années auparavant que les technologies permettant un tel exploit avaient connu leurs premiers balbutiements. Les progrès accomplis à la transition entre le dix-neuvième et le vingtième siècle en termes de distance de transmission ont connu une progression foudroyante, ouvrant ainsi l'exploitation d'un nouveau moyen de transport (de l'information) semblant inépuisable. Les progrès des techniques d'émission et de réception radio ont permis ensuite tout au long du vingtième siècle de maîtriser les ondes de fréquences de plus en plus élevées. Ainsi, après la distance, le nouvel espace de conquête des ondes est devenu celui de la fréquence. A nouveau l'homme a réussi à atteindre ses objectifs et à exploiter l'ensemble du spectre fréquentiel offrant de bonnes conditions de transmissions. Tant et si bien que le spectre fréquentiel arrive actuellement à saturation. Aujourd'hui si l'on cherche de nouveaux horizons de progrès, l'utilisation du spectre fréquentiel offre un défi à la mesure des ceux que présentaient la distance et la fréquence par le passé.

1. Saturation du spectre fréquentiel

Aujourd'hui, les ondes portent chaque jour les communications qui permettent à chacun de joindre ses proches. C'était encore il y a peu un luxe réservé à un faible nombre. Mais en se démocratisant subitement, les ondes ont provoqué leur propre pénurie, emballant la machine à dévorer le spectre : 2G, 3G et maintenant 4G, si on ne considère que la téléphonie cellulaire. Ainsi, lorsque la question suivante s'est posée : « quelles fréquences utiliser pour la 4G ? », c'est la même réponse entendue depuis cent ans qui s'est imposée : « en en prenant aux autres ». Le spectre est en effet alloué par bandes fréquentielles à une ou un groupe d'applications déterminées, et cela depuis les débuts de son exploitation. C'est ce qui s'est produit avec la 4G en 2011 pour les bandes de fréquence à 2,6 GHz et 800 MHz, grâce au dividende numérique issu du passage de la télévision analogique à la télévision numérique terrestre (TNT), ainsi qu'au « déplacement » (en fréquence) des systèmes RUBIS de la gendarmerie et FELIN de l'armée de terre. Cela n'a été possible que parce que l'Etat a largement pu compenser le coût de la migration des systèmes militaires (quelques centaines de millions d'euros) par le bénéfice obtenu sur le prix des licences de téléphonie mobile de quatrième génération (trois milliards et demi d'euros). Cependant, on comprend aisément la limitation de ce genre d'opération à long terme, quand le spectre est de plus en plus densément occupé.

2. La radio intelligente : considérations électromagnétiques

2.1. Nouvelles solutions offertes par la radio intelligente

N'y aurait-il pas en ce début de vingt et unième siècle de nouvelles opportunités spectrales que les progrès technologiques de ces vingt dernières années pourraient permettre ? C'est ce que revendique la radio intelligente [1], partant du constat que si toutes les bandes de fréquences sont bien allouées, le spectre n'est pas saturé à chaque instant, à chaque endroit [2]. Il y a par conséquent un nouveau moyen pour disposer d'ondes, moyennant une exploitation locale d'opportunités sur une faible échelle de temps. Cela sous-entend que les équipements radio intelligents puissent avoir de nouvelles propriétés d'adaptation d'une part, puisqu'ils ne respectent plus un schéma figé, pré-établi et permanent. D'autre part ils doivent être doués de capacités de mesures de leur environnement et de moyens de décision, ces derniers devant être robustes à d'éventuelles incertitudes sur les mesures qu'ils effectuent. C'est le cycle intelligent simplifié adapté à la radio intelligente [3] : observation, décision, adaptation de la Figure 1.

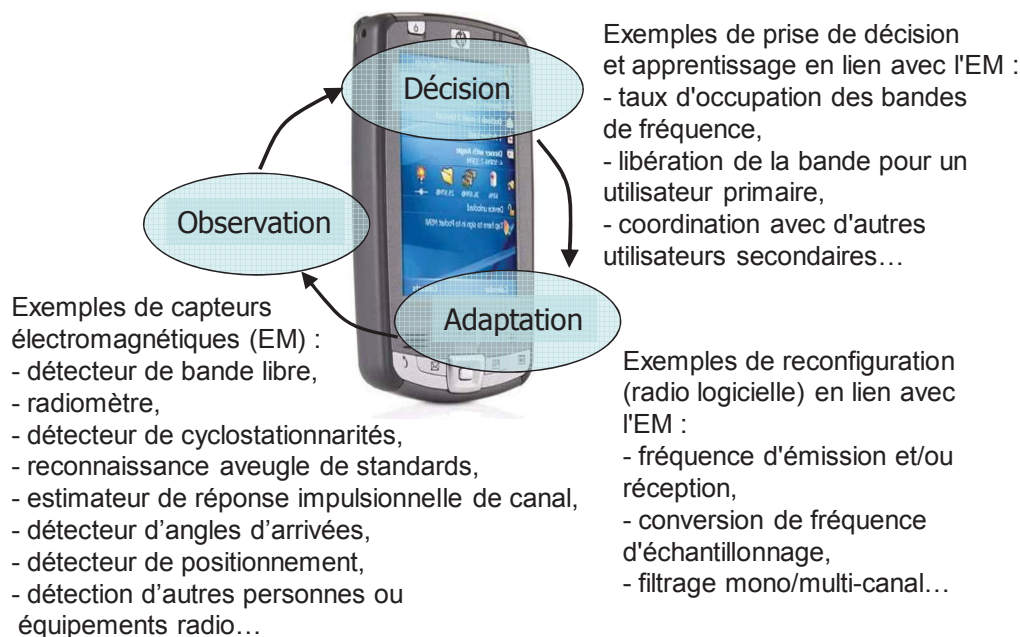


Figure 1 – Cycle intelligent simplifié : considérations électromagnétiques

2.2. Principes de la radio intelligente

L'autonomie en termes d'adaptabilité que confère la combinaison des éléments du cycle intelligent aux équipements radio permet d'envisager des scénarios d'accès dynamique au spectre, voire d'accès opportuniste au spectre [4]. L'accès dynamique au spectre permet à plusieurs « utilisateurs » d'une même bande fréquentielle de partager son utilisation, moyennant le respect de principes pour éviter que les utilisateurs n'interfèrent. Dans un contexte d'accès opportuniste au spectre, des utilisateurs secondaires ont le droit d'utiliser les ressources fréquentielles des utilisateurs primaires, c'est-à-dire ayant une licence d'exploitation d'une bande, bien que les utilisateurs secondaires soient non licenciés, mais cela uniquement dans les lieux et pendant les périodes où les utilisateurs primaires ne l'utilisent pas. La condition de bon fonctionnement de ce principe est que les utilisateurs secondaires ne doivent pas interférer avec un utilisateur primaire et ils doivent par conséquent libérer la ressource fréquentielle dès qu'un utilisateur primaire s'en saisit à nouveau [2]. Ce scénario n'est pas uniquement futuriste puisqu'il est déjà adopté par la FCC pour les bandes de la télévision, avec certaines restrictions [5]. On peut présager que ce n'est qu'une étape vers une utilisation plus générale, mais certainement pas systématique, du spectre à moyen terme.

2.3. Capteurs électromagnétiques de la radio intelligente

Nous avons vu qu'une radio intelligente est munie de capteurs afin de connaître son environnement. Le capteur (physique) naturel d'une radio est son antenne. Même si ce n'est pas le seul moyen dont elle dispose, la radio intelligente ne se prive pas d'exploiter la capacité qu'a tout appareil radio d'analyser son environnement électromagnétique. En exploitant les données reçues par l'antenne, la radio intelligente dérive de nouveaux capteurs, non plus physiques, mais issus de calculs du domaine du traitement du signal. Ainsi, comme illustré sur la Figure 1, une radio intelligente pourra être munie de capteurs tels que [3] : un détecteur de bande libre, un radiomètre, un détecteur de cyclostationnarités, un détecteur de reconnaissance aveugle de standards, un estimateur de réponse impulsionnelle de canal, un détecteur d'angles d'arrivées, un détecteur de positionnement, un détecteur d'autres personnes ou équipements radio, etc.

2.4. Apprentissage et prise de décision spectrale en la radio intelligente

Doté des moyens d'analyse évoqués ci-dessus, une radio intelligente pourra apprendre à connaître son environnement, notamment au niveau électromagnétique, et ainsi anticiper certains choix, comme par exemple celui de la bande à utiliser dans un contexte d'accès opportuniste au spectre. Il est possible de montrer que ce contexte peut se modéliser sous la forme d'un problème de bandit manchot (ou MAB pour *Multi-Armed Bandit*). Nous avons ainsi utilisé les algorithmes UCB (*Upper Confidence Bound*) déjà envisagés dans le contexte des MAB pour permettre à une radio d'un utilisateur secondaire d'apprendre le taux de disponibilité des bandes de fréquences à sa disposition, en fonction du comportement des utilisateurs primaires et des autres utilisateurs secondaires [6]. On remarque que cette approche d'apprentissage par renforcement est particulièrement adaptée au cas (difficile) où l'appareil radio a une faible connaissance *a priori* de son environnement. Lorsque celui-ci lui est parfaitement connu, un mode de décision de type « expert » convient. Nous en avons déduit une classification des différentes approches de prise de décision pour la radio intelligente [3].

2.5. Mise en œuvre du cycle intelligent

Une radio logicielle est idéale pour permettre l'application des décisions de reconfiguration (paragraphe 2.4) prises grâce aux informations captées sur l'environnement (paragraphe 2.3), que ce soit dans un contexte centralisé (la décision est prise dans le réseau) ou décentralisé (la décision est prise au niveau local de chaque équipement) [3]. Cependant, outre chacune des trois pièces du puzzle du cycle intelligent, il est nécessaire de coordonner leur opération dans l'équipement et c'est le rôle que doit jouer une architecture de gestion de l'intelligence [7]. Nous proposons dans [8] une illustration de la mise en partition de ces quatre éléments indispensables au bon fonctionnement des équipements radio intelligents.

3. Conclusion

La radio intelligente est une solution prometteuse pour mieux utiliser les ondes à chaque instant et en chaque lieu. Les capacités d'une radio intelligente reposent notamment sur l'analyse qu'elle peut faire de son environnement électromagnétique et c'est sur ce point que nous avons insisté dans cet article. La radio intelligente cependant vise à prendre en considérations d'autres informations sur son environnement (position, vitesse, etc.), sur le propre fonctionnement de l'équipement (consommation électrique, taux de charge des processeurs, etc.) ou les contraintes de l'utilisateur (type d'abonnements, contraintes de sécurité, rapport qualité prix exigé, etc.). Une autre facette de la radio intelligente est aussi que comme toutes ces capacités peuvent être utilisées pour mieux communiquer, elles peuvent également l'être pour mieux préserver l'environnement. En effet, la radio intelligente peut permettre d'éviter l'utilisation de certaines bandes pré-définies afin de les préserver pour l'observation (astronomique, météo, etc.), ou de diminuer l'exposition des personnes aux ondes par exemple. On parle alors de radio verte ou éco-radio [9].

Références bibliographiques

- 1 J. Mitola, "Cognitive Radio" Licentiate proposal, KTH, Stockholm, Sweden, Dec. 1998
- 2 FCC Notice of Proposed Rulemaking, "Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands; Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band", 19 FCC Rcd. 10018 (2004).
- 3 J. Palicot (sous la direction de), *De la radio logicielle à la radio intelligente*, Collection Télécom, Lavoisier Librairie, juin 2010, ISBN : 978-2-7462-2598-5
- 4 Q. Zhao, A. Swami, "A Survey of Dynamic Spectrum Access: Signal Processing and Networking Perspectives", in IEEE ICASSP: special session on Signal Processing and Networking for Dynamic Spectrum Access, April, 2007
- 5 D. Noguét, M. Gautier, V. Berg, "Advances in opportunistic radio technologies for TVWS" *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2011
- 6 W. Jouini, C. Moy, J. Palicot, "Decision making for cognitive radio equipment: analysis of the first 10 years of exploration", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking* 2012, 2012:26.
- 7 C. Moy, "High-Level Design Approach for the Specification of Cognitive Radio Equipments Management APIs", *Journal of Network and System Management - Special Issue on Management Functionalities for Cognitive Wireless Networks and Systems*, vol. 18, number 1, pp. 64-96, Mar. 2010
- 8 C. Moy, W. Jouini, N. Michael, "Cognitive Radio Equipments Supporting Spectrum Agility", *International Workshop on Cognitive Radio and Advanced Spectrum Management (CogART 2010)*, ISABEL conference, Roma, Italy, 7-10 November 2010
- 9 J. Palicot, "Cognitive Radio: An Enabling Technology for the Green Radio Communications Concept", *IWCMC'09*, 21-24 June 2009, Leipzig, Germany