

Mesures et analyse de l'occupation spectrale et du taux d'utilisation dans la bande 400 MHz-6 GHz en vue de la mise en place d'un système de radio cognitive

Václav Valenta^{1,2}, Fabien Robert², Martha Suarez², Roman Maršálek¹, Martine Villegas², Geneviève Baudoin²

¹ Brno University of Technology, Department of Radio Electronics, Brno, République Tchèque

² Université Paris-Est, ESYCOM, ESIEE Paris, Noisy-le-Grand

valentav@esiee.fr : correspondant principal

Résumé

Ce document présente les techniques de mesures et d'analyse de l'utilisation spectrale dans la bande 400 MHz à 6 GHz en région Ile-de-France. Ces mesures sont effectuées en utilisant une antenne logarithme-périodique large bande. Le but de ces mesures est d'analyser l'utilisation du spectre dans une région géographique spécifique et d'évaluer les potentialités d'utilisation de la radio cognitive ou de tout autre système basé sur le principe d'allocation dynamique du spectre. De plus, cette étude compare les résultats avec les mêmes mesures réalisées en République Tchèque.

1. Introduction

Le spectre électromagnétique est une ressource naturelle finie et en tant que ressource finie, elle est limitée dans son utilisation. Par conséquent, le spectre électromagnétique doit être régulé par les autorités gouvernementales compétentes (ITU, CTU, FCC, etc.). Les systèmes de communication sans fil actuels sont basés principalement sur l'allocation des ressources fixes. Le spectre électromagnétique est donc alloué de manière statique signifiant que différents systèmes de communication travaillent exclusivement sur une partie du spectre dans une période donnée. Cette allocation du spectre peut varier en fonction des lieux (département, région, état). Cependant, d'après les analyses d'occupation spectrale sur une période étalée [1], [2], [5] ce mode d'allocation du spectre n'est pas efficace et amène à un gaspillage des ressources en raison de l'usage très sporadique dans les différentes régions géographiques ainsi que sur une période donnée de temps. Ces résultats nous amènent à reconsidérer le protocole d'allocation des fréquences et, en outre, ils ouvrent un espace pour les nouveaux systèmes de communication qui seront fondés sur le principe de l'allocation dynamique du spectre (DSA). Cette idée de base est la clé de voûte du concept de la radio cognitive (RC), une technologie qui permet d'accéder au spectre de manière dynamique. Plus précisément, il permet d'accéder aux fréquences qui ne sont pas utilisées et, par

conséquent, résout le problème d'occupation du spectre. Le concept fondamental de la radio cognitive a d'abord été proposé par J. Mitola III [3] et elle peut être décrite comme une Software Defined Radio (SDR), consciente de son environnement opérationnel et qui peut adapter son comportement en fonction du temps et de la disponibilité vis à vis de la demande en transmission (débit exigé, BER, temps de latence, etc.) [4].

Il est évident que la détermination de fréquences non-utilisées est une question récurrente et critique pour les algorithmes DSA et, par conséquent, la compréhension du comportement de l'utilisation du spectre devient primordiale. À long terme, des mesures statistiques du spectre pourraient être éventuellement utilisées et mises à jour régulièrement pour les terminaux de RC et les stations de mesure afin de faciliter la recherche de fréquences inutilisées et/ou sous-utilisées. Dans ce contexte, l'objectif fondamental de cet article est de donner la méthode d'analyse et les résultats concernant le comportement d'utilisation spectrale dans un environnement spécifique et de déterminer les bandes mal utilisées qui pourraient être utilisées de manière dynamique dans le cas des dispositifs cognitifs.

Le but de l'étude est de mesurer grâce à une antenne logarithme-périodique large bande l'occupation spectrale par le principe de la détection d'énergie suivie d'une analyse statistique dans les bandes des systèmes TV, communications mobiles et systèmes de réseaux sans fils. En effet, le concept de radio cognitive envisagé, n'est pas celui d'une radio cognitive large bande mais plutôt d'une radio opportuniste dans les bandes allouées. Ce travail permet donc de mettre en évidence les zones du spectre non exploitées, donc utilisables par la radio cognitive. En outre, la comparaison de l'utilisation du

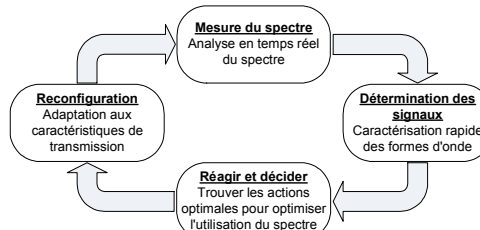


Figure 1. Cycle d'adaptation de la Radio cognitive

Ce projet a été partiellement supporté par le program "Doctorat en Cotutelle" et par l'Agence de soutien à projets de la République Tchèque GACR 102/08/H027 et 102/09/0776.

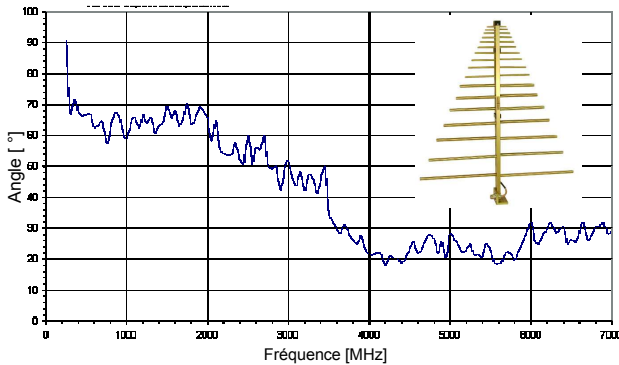


Figure 2. Largeur à mi-puissance de l'antenne.

spectre dans deux régions géographiques différentes est présentée. Ceci permet d'évaluer les différences géographiques et par conséquent d'optimiser la complexité de l'allocation dynamique de ressources.

2. Méthode de mesures

La campagne de mesures est réalisée dans un environnement de type « outdoor » pendant plusieurs jours. Cette méthode systématique a déjà été appliquée en république Tchèque, Singapour et autres pays [2], [5]. Les mesures ont été effectuées sur le toit du bâtiment ESIEE Paris, qui est situé dans la banlieue sud-est de Paris. L'antenne logarithmo-périodique large bande (voir largeur à mi puissance de l'antenne sur la Figure 2) a été tournée chaque jour dans une direction différente et ce durant 12 jours. Ainsi 12 segments ont été analysés afin de couvrir toute la zone d'étude. Le résultat global de cette mesure est décrit dans la Fig. 3. Les analyses de certaines bandes seront présentées dans la section 3.

2.1. Banc de mesures

Le signal capté par l'antenne large bande est traité par un analyseur de spectre puis envoyé via GPIB / USB vers un PC pour un traitement à l'aide de Matlab Instrument Toolbox. Matlab est également utilisé pour le traitement des données stockées. Les facteurs de correction sont pris en compte en raison du gain d'antenne, des pertes dues au câble et des pertes de connexion.

2.2. Traitement des données

L'ensemble de la bande de fréquence de 5,6 GHz

(400 MHz à 6 GHz) est divisée en 330 sous-bandes de 20 MHz. Afin d'atteindre une haute résolution, chaque sous-bande est analysée avec une résolution de 55 kHz. 44800 échantillons sont stockés pour l'ensemble de la bande analysée, correspondant à un échantillon tous les 147 kHz. Le temps de balayage de la bande de 5,6 GHz est de 401 secondes. Au total 215 balayages de la bande sont effectués pendant une journée, couvrant ainsi la quasi-totalité des 24 heures.

3. Analyse de l'utilisation spectrale

La figure 3 montre l'information brute issue de la bande d'intérêt. Pour obtenir de plus amples informations sur les caractéristiques de l'utilisation spectrale, nous allons zoomer sur certaines bandes de fréquences sous licence et analyser celles-ci en détail. Pour quantifier l'utilisation du spectre on utilise le paramètre « duty cycle », qui précise le temps, pendant lequel la bande est utilisée. Ce rapport cyclique a été calculé comme le rapport entre le nombre d'échantillons $N_{(P>seuil)}$ possédant un niveau de puissance supérieur à une puissance seuil et le nombre total d'échantillons N_{Total}

$$\text{Duty Cycle} = \frac{N_{(P>seuil)}}{N_{Total}} \quad (1)$$

La détermination du seuil de puissance doit être précise. D'un seuil trop élevé, peut résulter une estimation d'utilisation très faible. D'autre part, un seuil trop petit peut amener à la situation inverse, dans laquelle même le bruit de fond pourrait être considéré comme une activité. Afin de surmonter ce problème, les différents seuils pour les différentes bandes de fréquence ont été définis, en fonction du niveau de bruit. Le seuil de puissance qui détermine l'occupation d'une fréquence de l'échantillon a été fixée dans la plupart des cas à 7 dB au-dessus de la puissance moyenne du bruit mesuré dans la bande. La valeur de 7 dB a été choisie comme la meilleure valeur à long terme fondée sur l'observation du bruit. Ce principe correspond à une méthodologie utilisée dans autres publications [2], [5]. Toutefois, dans certains cas, le seuil a été délibérément réduit afin de capter les signaux très faibles.

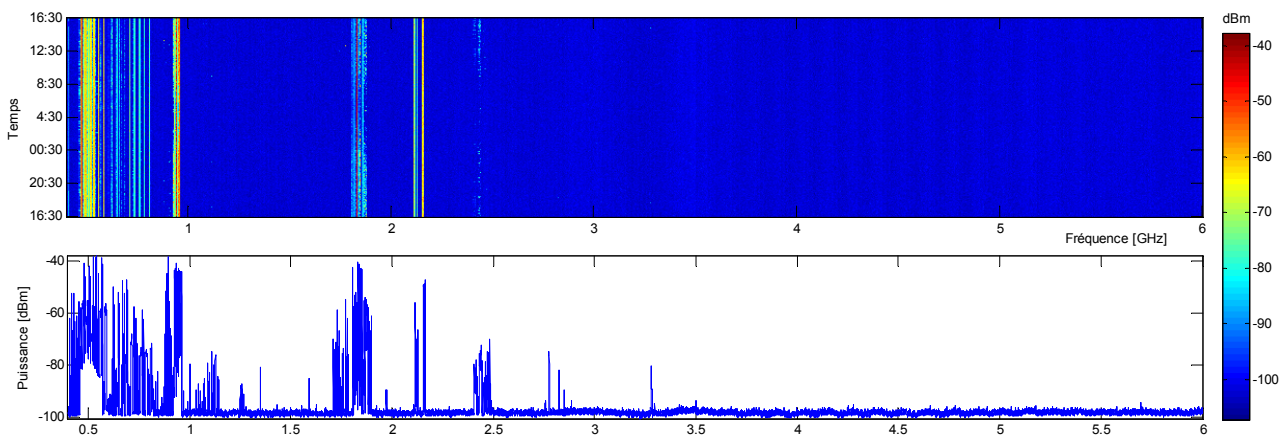


Figure 3. Résultat global d'occupation spectrale en fonction du temps et en fonction du niveau de puissance maximal.

Les figures suivantes (Fig. 4 – Fig. 5) présentent une analyse détaillée de certaines bandes de fréquences. Chaque ensemble de tableaux présente le maximum de puissance reçue (dans le cas de la bande de la TV c'est la puissance moyenne), puis les fréquences, considérées comme étant occupées et le paramètre « Duty cycle ». L'affichage de la puissance maximale a été préféré à la puissance moyenne afin de mieux cerner les profils spectraux des signaux étudiés.

La faible utilisation des bandes de la télévision (470-830 MHz, Fig. 4) présente une opportunité importante pour de réutilisation du spectre. De plus, cette bande offrira encore plus de possibilités après la transition complète à la télévision numérique, spectralement plus efficace, libérant ainsi de la place pour les nouvelles applications sans fil. Il est à noter que cette partie du spectre radioélectrique est particulièrement précieuse, car la propagation de ces ondes électromagnétiques offre de très bonnes propriétés en termes de pénétration et de couverture. Une attention toute particulière devrait être accordée à la gestion des ressources dans cette bande de fréquence. Comme on peut voir dans la Fig. 4, de nombreux canaux (chacun égal à 8 MHz) de télévision semblent être mal utilisés. Cela est dû au fait que l'attribution des chaînes de télévision dépend de l'emplacement géographique. Au total 24 des 45 canaux attribués pour la télévision ont été considérés comme étant occupés, donnant ainsi 53,3% d'utilisation sur l'ensemble de la bande TV. L'utilisation de la bande de TV dans la région de la Moravie du sud (République Tchèque) a été encore plus faible (10 canaux sur 49 soit 20,4%). Cela s'explique par la nature de cette région, moins urbanisée que la région Ile de France, mais également du fait, que la bande totale attribuée à la télévision est plus large (4 canaux non utilisées de plus). La Figure 5 compare l'utilisation dans les deux régions différentes étudiées.

L'utilisation de systèmes GSM 900 et GSM 1800 dépend beaucoup du temps (Fig. 6, Fig. 7). Une diminution importante de l'activité a été mesurée au cours de la nuit, à partir de minuit et jusqu'à 8 heures du matin. Il a été observé que la voie descendante présente une utilisation beaucoup plus important que la

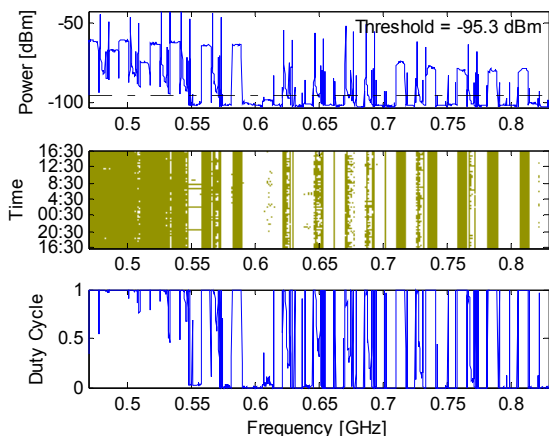


Figure 4. IV. et V. bande de TV, analogue&DVB-T.

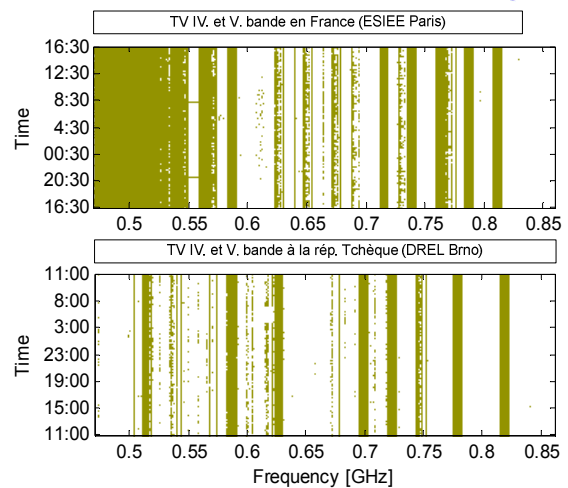


Figure 5. Comparaison de l'utilisation de la bande TV dans deux régions différentes.

voie montante. Cela est dû au fait que la puissance d'émission des stations de base (BS) est nettement plus élevée que celle transmise par les mobiles. De plus, les effets d'atténuation dus à l'environnement sont plus faibles pour les BS, car situées au-dessus des bâtiments.

Les performances du système de communication DECT sont représentées dans la Fig. 7. Chacune des dix porteuses dans la bande 1880-1900 MHz présente un trafic homogène, ce qui entraîne une utilisation de 13.2% de la bande allouée.

La figure 8 présente les performances dans la bande 1900-2483,5 MHz. Cette bande contient l'UMTS (155 MHz dans trois sous-bandes) et une bande ISM (2400-2483,5 MHz). En raison de la nature du CDMA (signal d'étalement du spectre), seuls les canaux descendants ont été détectés. L'utilisation complète de ces 155 MHz a été égale à 15,1%. Cependant, les cinq canaux actifs de l'UMTS (chacun de 5 MHz), ont été utilisés à 100%. Il est évident, que les signaux étalés ne peuvent pas être détectés par la méthode qui a été considérée dans cette analyse. Pour détecter ce type de signaux, une technique basée par exemple sur le principe « feature detection » doit être employée [6].

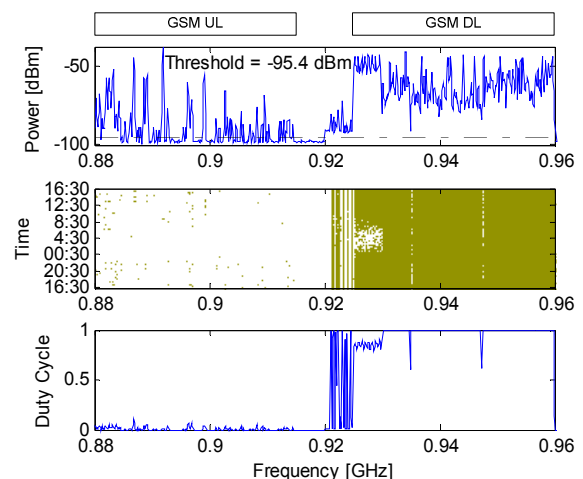


Figure 6. GSM 900 (bande 880–915/925–960 MHz).

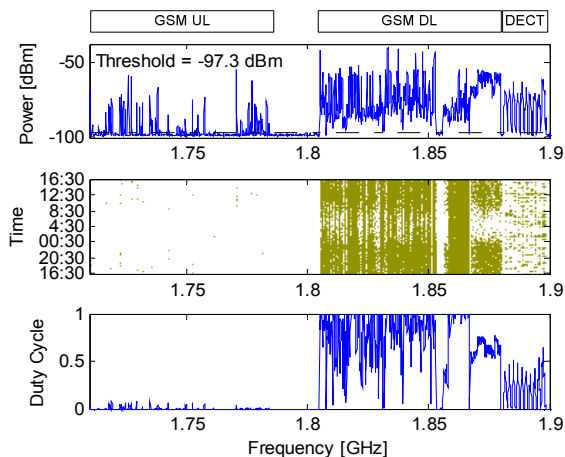


Figure 7. GSM 1800 (1710–1785/1805–1880 MHz) et DECT dans la bande 1880–1900 MHz.

Une très faible utilisation a été mesurée dans la bande ISM 2,4 GHz dans les deux régions (1% à Brno et 4,2% à ESIEE Paris). Une explication pourrait être que la plupart des systèmes dans cette bande utilise des antennes très directives pointant vers le sol pour couvrir les « hot spots ».

D'autre part, les propriétés de propagation des fréquences dans la bande 2,4 GHz dans l'extérieur des zones urbaines (sujettes entre autre aux nombreux multi-trajets) sont très pauvres. Cette bande spécifique sera en conséquence utilisée différemment dans un centre-ville et dans l'intérieur des bâtiments. Ainsi, une analyse dans un environnement intérieur a été effectuée avec une antenne identique et avec le même protocole de mesure, dans le même bâtiment où était placée l'antenne extérieur mais deux étages au dessous, dans un bureau.

Les niveaux de puissance des signaux intérieurs détectés sont de l'ordre de 10 dB plus puissants que ceux captés dans un environnement extérieur. L'occupation spectrale est donc supérieure à celle mesurée dans un environnement extérieur mais elle suit les mêmes tendances d'occupation temporaire (très faible la nuit).

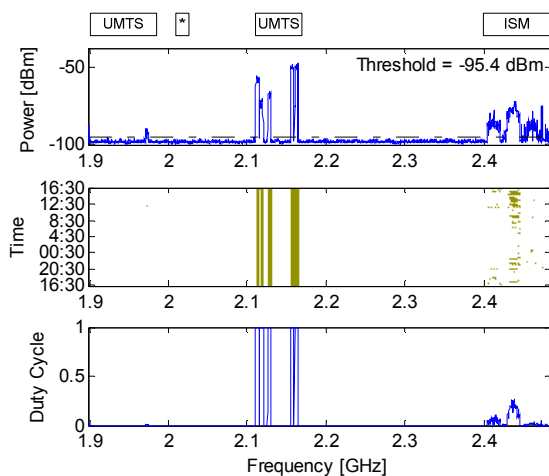


Figure 8. IMT2000/UMTS bandes 1900-1980, 2010-2025 et 2110-2170 MHz. ISM bande 2400-2483,5 MHz.

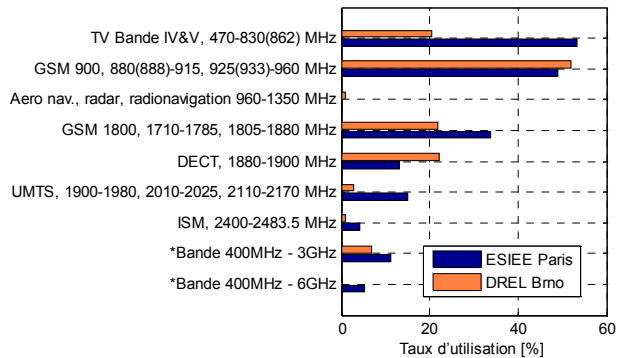


Figure 9. Comparatif d'utilisation des bandes sélectionnées en fonction de la région.

4. Conclusion

L'utilisation du spectre a été mesurée et le comportement de certaines bandes de fréquences a été analysé en détail dans deux régions différentes (voir la Fig. 9 pour la synthèse des résultats). Il a été démontré que l'utilisation du spectre dans la bande de 400 MHz à 6 GHz et dans une région spécifique est inférieure à 5,3%. Ces résultats démontrent qu'il y a de bandes sporadiquement utilisées dans le spectre des fréquences, et donc beaucoup d'espaces libres qui pourraient être utilisés par la radio cognitive ou par des systèmes basés sur le principe d'allocation dynamique du spectre. Il est souhaitable de mener d'autres campagnes de mesures pour faire, par exemple, une analyse de l'utilisation du spectre sur des plages de temps beaucoup plus larges ainsi que des mesures dans des environnements différents.

5. Bibliographie

- [1] D'Iitri, S., McHenry, M. Dynamic spectrum access moves to the forefront. *Defence Electronics*. April 2008, p. S3 – S6.
- [2] Habibul, I. et al. Spectrum survey in Singapore: occupancy measurements and analyses. *3rd Int. Conference on Cognitive Radio Wireless Networks and Communications*. Singapore, 2008.
- [3] Mitola, J. et al. Cognitive radios: making software radios more personal, *IEEE Personal Communications*. August 1999 vol. 6, no. 4.
- [4] Jondral, F. K. From Maxwell's equations to cognitive radio. *3rd Int. Conference on Cognitive Radio Wireless Networks and Communications*. Singapore, 2008.
- [5] Valenta, V., Fedra, Z., Marsalek, R., Baudoin, G., Villegas, M. Towards cognitive radio networks: spectrum utilization measurements in suburb environment. *Radio Wireless Symposium '09*, January 2009.
- [6] Gardner, W., Brown III, W., Chen, C.-K. Spectral correlation of modulated signals: Part II – digital modulation. *IEEE Trans. Communications*. June 1987, vol. COM-35, no. 6, pp. 595–601.