



Comité National Français de Radioélectricité Scientifique

Section française de l'

Union Radio Scientifique Internationale

Siège social : Académie des Sciences, Quai de Conti – Paris

JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CNFRS

" VERS DES RADIOCOMMUNICATIONS RECONFIGURABLES ET COGNITIVES "

PARIS, LES 28 ET 29 MARS 2006

Une application de la radio intelligente : Adaptation dynamique de la complexité algorithmique

Nicolas Colson*, Apostolos Kountouris

* nicolas.colson@rd.francetelecom.com

Résumé

Dans cette contribution, nous nous intéressons à la mise en place d'un processus de re-conception de la radio à la volée afin d'adapter de manière dynamique la complexité algorithmique du terminal aux caractéristiques du canal et ainsi obtenir les performances requises pour une complexité réduite. A la place d'une conception *a priori* basée sur le pire cas d'utilisation (i.e. caractéristiques du canal le plus défavorable), une radio cognitive peut reconnaître la situation actuelle du canal puis choisir une configuration adéquate pour cette situation spécifique. Nous avons choisi comme étude de cas un récepteur reconfigurable en nous focalisant plus précisément sur le bloc d'égalisation pour lequel une multitude de configurations alternatives existent. Afin de rendre l'étude plus concrète, nous avons utilisé pour nos simulations la norme GSM/EDGE. Les mesures obtenues servent de justification expérimentale à l'intérêt de cette approche.

Mots clés : radio cognitive, reconfiguration, complexité algorithmique, égalisation.

Introduction

La "radio cognitive" représente un domaine de recherche très actif vers des systèmes radio de plus en plus intelligents et autonomes. Introduit par J. Mitola en 1999 [Mit1], le concept de radio cognitive vient se placer logiquement dans l'évolution des technologies radio. En effet, le développement de nouvelles technologies a toujours été dicté par les besoins du moment et la disponibilité de la technique. Nous sommes ainsi passés de la radio analogique à la radio numérique avec tous les progrès qui s'en sont suivis notamment au niveau de la qualité, la rapidité et la fiabilité du transport de l'information mais aussi au niveau de la capacité du réseau. Avec les années, les besoins se sont amplifiés et de nouvelles solutions techniques sont apparues. Nous avons donc assisté à une explosion de nouvelles normes, le terminal évoluant dans un paysage radio de plus en plus hétérogène et complexe. Cela a conduit à l'idée de radio logicielle introduite par Mitola en 1992, [Mit2], au début pour des applications militaires mais qui s'est progressivement exportée vers le domaine civil. La radio cognitive correspond à l'étape suivante et l'émergence de ce concept est à relier directement avec le besoin de gérer toute cette nouvelle complexité relative à l'environnement du terminal radio.

Le mot "environnement" devant être pris au sens large (e.g. état du spectre RF, profil du canal radio, préférences de l'utilisateur, contexte réseau etc.), la radio cognitive est un domaine de recherche très vaste qui donne lieu à des travaux au niveau de chaque couche protocolaire jusqu'à l'interaction avec l'utilisateur. Souvent confondue avec ses applications particulières, une radio cognitive est un système radio qui opère selon le schéma générique suivant : observation (mesures) – décision (sélection d'une configuration) – exécution (reconfiguration). Ce "cycle cognitif" se réalise en parallèle avec la fonction principale du système radio, c'est à dire la communication. A titre d'exemple de radio cognitive, une radio opportuniste fonctionne ainsi :

- Observation : informations sur l'état d'occupation du spectre;

- Décision : en fonction de cette information, la radio décide si une bande du spectre est libre ou si elle est occupée; si elle est occupée, une autre bande libre est choisie pour la poursuite de la communication;
- Exécution : la radio change sa configuration (i.e. paramètres d'émission/réception) afin de pouvoir utiliser la nouvelle bande.

Selon notre vision, tout système radio mettant en place ce processus décomposé en trois parties est une "radio cognitive".

Dans cette contribution, nous étudions la re-conception du terminal à la volée sur la base de la reconnaissance du contexte opérationnel. Nous cherchons ainsi à adapter dynamiquement la complexité algorithmique du terminal en fonction des caractéristiques du canal afin d'obtenir les performances requises pour une complexité réduite. Dans notre cas, l'environnement à comprendre est le canal radio mobile qui varie constamment. [Sklar1] donne un aperçu complet des distorsions introduites par le canal et les techniques, [Sklar2], qui ont été développées au fil des années pour les combattre. Ces techniques représentent l'expertise que l'on dispose afin de concevoir des systèmes radio performants et robustes.

Après avoir mis en évidence la différence entre la conception classique du terminal et une conception cognitive, nous présentons de manière condensée l'état de l'art sur l'égalisation en fonction des structures et des choix algorithmiques. Cela représente notre espace de conception. Puis, nous expliquons comment procéder à une exploration de cette espace en fonction des caractéristiques du canal et des règles simples qui codifient l'expertise dans ce domaine. Le simulateur MATLAB développé est ensuite rapidement décrit (récepteur reconfigurable, canal multi-profil, module cognitif etc.) et nous présentons les expériences effectuées sur la base des scénarii d'évolution du canal simulés et les mesures obtenues (BER et mesures de complexité). Enfin, nous évoquons les futures extensions de ces travaux avant de conclure.

1. De la conception système classique à la conception cognitive

La conception classique d'un système radio sur des dispositifs câblés et peu flexibles nécessite la définition *a priori* du pire cas d'utilisation. Ensuite, les blocs de traitement du signal et les différents paramètres du système sont choisis par un *expert* radio de manière à obtenir un système radio qui fournit les performances requises pour un coût raisonnable. La radio conçue ainsi, a l'avantage de garantir qu'au pire cas la performance requise est obtenue. Néanmoins en conditions d'utilisation réelle, deux choses peuvent arriver. Premièrement, si la situation du canal n'est pas dans son état de pire cas mais dans un état plus favorable, la radio est surdimensionnée par rapport à cette situation. Par conséquent, une autre configuration de la radio aurait pu donner une performance acceptable pour un moindre coût (complexité). A titre d'exemple, [Husson] considère de débrancher l'égaliseur si le trajet direct est suffisamment fort. Deuxièmement, le canal peut se trouver dans un état qui va au delà du pire cas envisagé à la conception et du coup la configuration de la radio n'est plus adéquate. Dans ce cas, il est possible qu'une autre configuration puisse réaliser un meilleur compromis performances/complexité.

Il est évident que la conception classique a des limites. Il serait possible de s'en affranchir en embarquant le processus de conception dans le terminal pour permettre une reconfiguration dynamique et adaptée à l'environnement. Pour faire cela, trois ingrédients sont nécessaires : (i) concevoir le système radio en tant que système reconfigurable disposant d'un ensemble des configurations alternatives; (ii) mettre en place un dispositif d'observation de l'environnement (e.g. le canal) afin de pouvoir raisonner sur son état; (iii) codifier l'expertise de conception radio afin qu'une machine (i.e. la radio elle même) puisse trouver une configuration adéquate parmi les configurations alternatives.

Actuellement les travaux réalisés en radio logicielle nous permettent de considérer (i) comme acquis même si certains aspects technologiques nécessitent encore du travail (e.g. composants RF et numérisation large bande). En revanche les éléments (ii), (iii) nous font entrer dans le domaine de la radio cognitive où la radio raisonne sur son contexte d'utilisation et adapte de manière autonome (ou assistée) son opération pour optimiser ses indices de performance.

Etude de cas, égaliseur reconfigurable

Afin de justifier l'intérêt de notre approche, nous avons choisi comme étude de cas un récepteur reconfigurable en nous focalisant plus précisément sur le bloc d'égalisation pour lequel une multitude de

configurations alternatives existent. Nous cherchons alors à réaliser des compromis entre la performance du système caractérisée par son taux d'erreur binaire (TEB) et la consommation de la batterie évaluée par la complexité algorithmique (i.e. nombres d'opérations effectuées). Pour cette étude de cas, l'environnement du terminal se limite au canal radio et nous faisons l'hypothèse d'une connaissance parfaite du canal. Les aspects relatifs à la perception et à la modélisation du canal seront considérés dans des travaux futurs (cf 4.). Le choix d'un égaliseur comme module reconfigurable se justifie pour les raisons suivantes. D'une part, il existe de nombreuses configurations alternatives, chaque configuration ayant un impact différent sur la complexité du système. De plus, les performances d'une configuration dépendent directement du canal dans lequel évolue le terminal. D'autre part, la conception d'un égaliseur est d'une grande importance puisque la qualité de la chaîne de transmission dépend fortement de ses performances. C'est le bloc le plus complexe du récepteur numérique et il peut consommer jusqu'à 80% des ressources du récepteur [Treich]. La figure 1 illustre la diversité des configurations disponibles [Proa1]. Ce schéma est loin d'être exhaustif puisqu'il existe aussi d'autres algorithmes et une vaste littérature sur le sujet; néanmoins, il donne une bonne indication de toute l'expertise développée autour de la fonction d'égalisation.

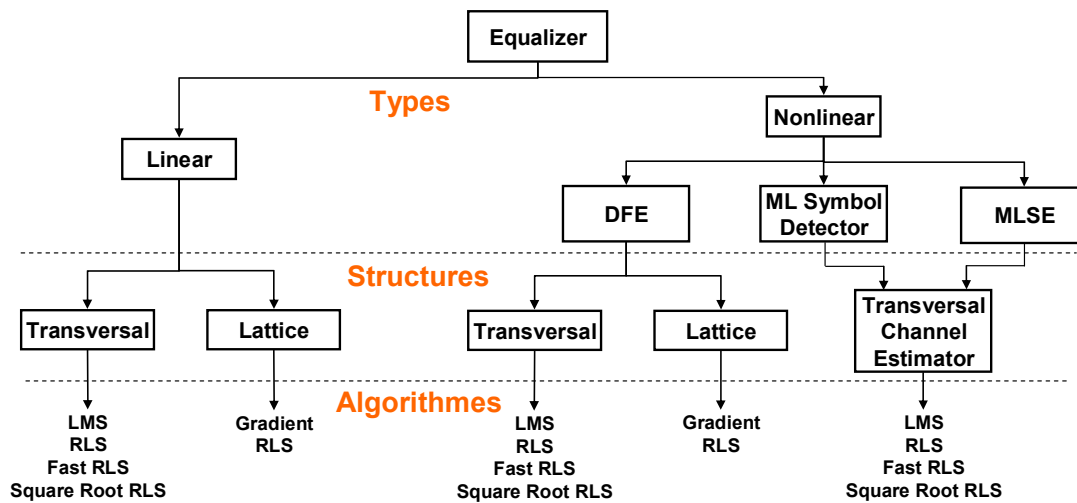


Figure 1: Etat de l'art condensé de l'égalisation [Proa1]

Toutes les configurations ont été amplement étudiées (e.g. [Qure], [Proa1 & 2] et [Forn]) de telle sorte qu'il est possible de prédire (avec une certaine probabilité) le comportement d'une configuration pour un canal donné. Par exemple, l'égaliseur linéaire offre de bonnes performances lorsque le canal est facile et présente une réponse fréquentielle relativement plate. Cette structure sera par contre à éviter lorsque le canal présente des zéros fréquentiels. De même, pour l'adaptation on préférera choisir l'algorithme RLS par rapport au LMS lorsque le canal varie rapidement car le RLS a une plus grande vitesse de convergence et des meilleures propriétés de "tracking" mais pour un coût en complexité plus élevé. Il n'est pas nécessaire de s'étaler plus longuement sur le sujet pour comprendre qu'avec l'approche de conception classique, nous sommes obligés de raisonner a priori et choisir une configuration adéquate au "pire cas" alors que dans le cas d'une conception cognitive, la radio s'est vue dotée de mécanismes lui permettant de raisonner sur le "cas actuel" et de choisir la configuration suffisante.

Afin de pouvoir imiter le processus de conception, il est nécessaire de représenter l'espace de conception ainsi que les différentes questions que tout concepteur doit se poser afin de faire son choix. Le schéma de la figure 2 représente à la fois l'espace de configuration pour l'égaliseur et le processus d'exploration de cette espace par le concepteur. Chaque triangle correspond à un choix de haut niveau qui doit être fait en fonction de la situation. Chaque ovale représente un choix spécifique qui peut être soit la valeur d'un paramètre (e.g. longueur de l'égaliseur, facteur de suréchantillonnage), soit la sélection d'un algorithme parmi différentes possibilités. L'exploration de l'espace des configurations se fait en parcourant ce graphe acyclique et en prenant une décision à chaque nœud en fonction de notre appréciation de la situation. Après avoir déterminé un chemin complet à travers ce graphe, nous obtenons la configuration appropriée pour la situation identifiée.

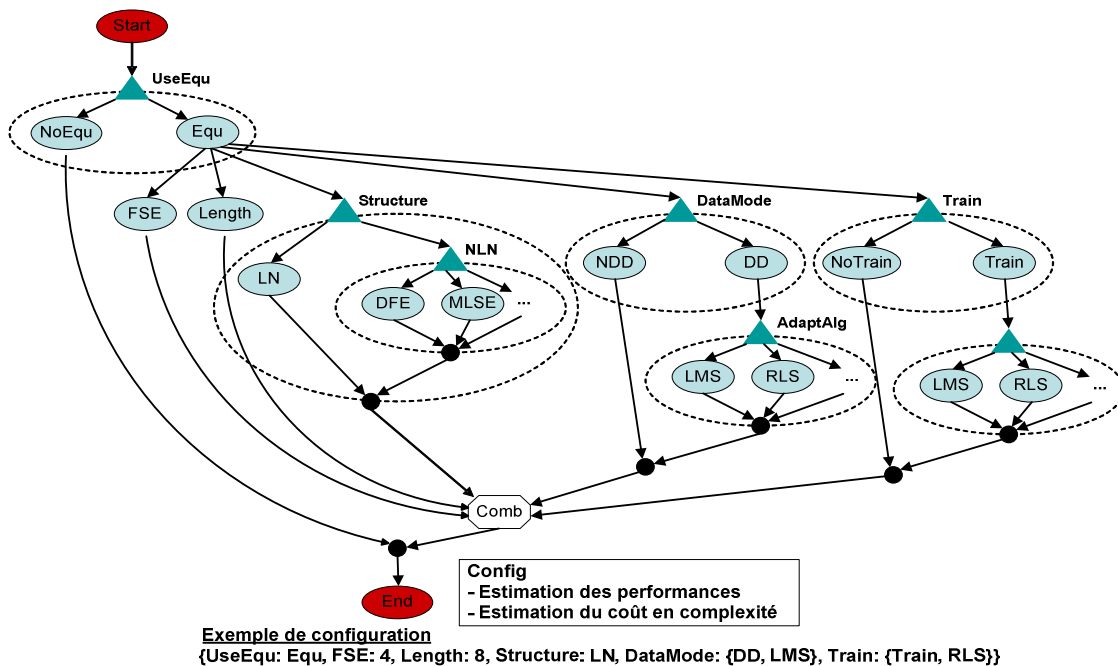


Figure 2: Exploration de l'espace de conception pour un égaliseur

Il est donc important d'analyser les informations nécessaires à la prise de décision. Ces informations seront obtenues à partir des mesures effectuées pour caractériser le canal et elles nous permettront de faire une classification par type. Elles concernent, par exemple, l'existence de trajet direct, le niveau d'étalement temporel, le niveau de sélectivité en fréquence ou encore la rapidité des variations.

2. Environnement d'expérimentation

Pour obtenir une confirmation expérimentale du bien-fondé de la reconfiguration dynamique, un simulateur se basant sur la norme EDGE/GSM a été développé sous Matlab. Le programme simule une chaîne de transmission radionumérique depuis la génération de bits d'informations aléatoires jusqu'à l'extraction des données reçues et évalue les performances de cette chaîne.

La chaîne développée est relativement classique si ce n'est qu'elle a été développée dans le but d'être entièrement reconfigurable. Pour l'instant, les efforts de reconfiguration se sont portés majoritairement sur le bloc égaliseur. La chaîne se comporte de la manière suivante. Les bits d'informations aléatoires sont intégrés dans une trame de type EDGE/GSM dont le format est donné à la figure 3.a). Le format d'une trame peut être vu comme le résumé de l'expertise de conception pour la norme considérée. En effet, elle a été choisie par rapport à un pire cas de manière à simplifier le traitement à la réception et à faciliter la recherche de solutions sur le plan de la mise en œuvre.

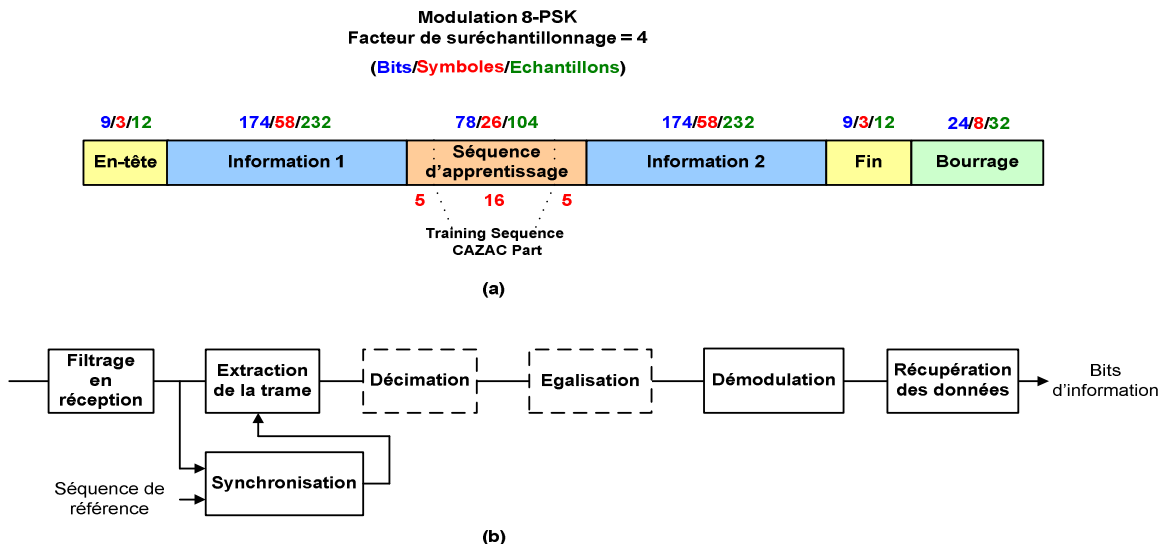


Figure 3: (a) Format de la trame et paramètres de la simulation, (b) Diagramme de blocs du récepteur

La séquence d'apprentissage devra être exploitée au maximum par une radio cognitive car c'est la référence sur laquelle on peut raisonner pour identifier le contexte opérationnel. Une fois formée, la trame est modulée, suréchantillonnée (en pratique d'un facteur 4), filtrée puis envoyée. Elle est alors influencée par le canal suivant un profil prédéfini (cf 3.).

A la réception (cf figure 3.b), les données reçues sont filtrées, la composition du filtre d'émission et du filtre de réception formant un filtre de Nyquist. La trame est ensuite extraite des données grâce aux grandeurs de synchronisation. Si l'égaliseur est synchrone, la trame est décimée. Si l'égaliseur est fractionnel, l'opération de décimation se fait en même temps que l'égalisation. Pour nos simulations, nous nous sommes limités à un certain nombre de possibilités de reconfiguration pour la fonction d'égalisation. En premier lieu, il est possible de choisir d'utiliser un égaliseur ou de le débrancher. Il y a ensuite trois niveaux de reconfiguration. Le premier correspond au choix du mode de l'égaliseur (passage par un mode apprentissage ou non, Data Mode Decision Directed ou Non Decision Directed). Le deuxième est associé à la conception de l'égaliseur à un niveau supérieur: structure (égaliseur linéaire ou DFE) et algorithme (LMS ou RLS). Le troisième est relatif à la conception de l'égaliseur à un niveau inférieur (choix de la longueur de l'égaliseur et des paramètres des algorithmes). L'ensemble des choix présentés forme l'espace de conception. Après égalisation, la trame est démodulée, les bits d'informations sont récupérés et comparés aux bits envoyés pour une évaluation des performances de la chaîne.

La reconfiguration de la chaîne est laissée à la charge d'un processus cognitif censé imiter le savoir faire du concepteur. Pour y arriver, l'intelligence du système se base sur un ensemble de règles issues de l'expertise dans le domaine. Si l'on retourne à notre étude de cas, comme il a déjà été mentionné, la figure 3 représente un graphe acyclique orienté traduisant le processus de décision à adopter pour trouver l'égaliseur adéquat parmi les différentes configurations disponibles. Cette exploration de l'espace de conception est alors gouvernée par le profil du canal et par les exigences de performances et de complexité. Pour l'instant, le processus cognitif de notre simulateur procède par l'application de règles simples résumées dans le tableau 1.

Décision à prendre	Facteur(s) à prendre en compte
Egalisation ou non	Egalisation conditionnelle [Husson]
Egaliseur linéaire ou DFE	Difficulté du canal (notamment sa réponse fréquentielle)
Longueur de l'égaliseur	Etalement temporel du canal
DD ou NDD	Vitesse de variation du canal par rapport à la durée de la trame
Mode apprentissage: RLS ou LMS	Compromis entre vitesse de convergence et complexité
Mode Data: RLS ou LMS (si DD)	Compromis entre capacité de "tracking" et complexité

Tableau 1: Mise en place de règles simples

A la sortie du processus de décision, une configuration est sélectionnée et le bloc égalisation est reconfiguré. Cette nouvelle configuration se traduit par une certaine complexité et nous évaluons ses performances pour le profil du canal considéré. Les caractéristiques (performances et complexité) de cette configuration peuvent alors être comparées avec celles d'une configuration de référence non flexible afin de visualiser l'amélioration apportée par le processus cognitif. C'est le principe que nous avons adopté pour évaluer notre simulateur.

3. Résultats

Le tableau 2 donne un aperçu des différents profils du canal utilisés pour la simulation, le tableau 3 présente les différentes configurations disponibles.

Profil du canal	P1	P2	P3	P4	P5
$E_b N_0$ (en dB)	16	16	16	16	16
Type de canal	Rice	Rayleigh	Rayleigh	Rayleigh	Rayleigh
Nombre de trajets	1	2	2	2	3
Délais associés aux trajets (en intervalle de temps échantillons)	0	[0 2]	[0 2]	[0 2]	[0 4 8]
Puissances moyennes associées aux trajets (en W)	1	[1 0.4]	[1 0.4]	[1 0.4]	[1 0.4 0.2]
Vitesse (en km/h)	0	0	20	80	40
Fréquence Doppler maximale (en Hz)	0	0	16,7	66,7	33,3
Kfactor	8	0	0	0	0
Phase de la composante spéculaire (en rad)	0	---	---	---	---

Tableau 2: Profils du canal utilisés pour la simulation

Configuration	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Structure	Pas d'ég.	Linéaire	Linéaire	Linéaire	Linéaire	Linéaire	DFE	DFE	DFE	DFE	DFE
Algorithme pour le Training Mode	---	LMS	LMS	RLS	RLS	RLS	LMS	LMS	RLS	RLS	RLS
Data Mode	---	NDD	DD	NDD	DD	DD	NDD	DD	NDD	DD	DD
Algorithme pour le Data Mode	---	---	LMS	---	RLS	LMS	---	LMS	---	RLS	LMS
Nombre d'additions	0	1249	2320	3459	14645	4530	1591	2900	4321	18125	5630
Nombre de multiplications	0	1394	2465	6568	31320	7639	1736	3045	9770	47850	11079
Nombre de divisions	0	0	0	2	4	2	0	0	2	4	2

Tableau 3: Configurations disponibles pour la simulation

Dans le tableau 3, nous avons donné à titre indicatif et pour chaque configuration, le nombre d'opérations complexes réalisées lors de l'égalisation d'une trame GSM (avec apprentissage sur la séquence de 26 symboles) lorsque la longueur du filtre transverse est de 8 et celle du filtre récursif (dans le cas d'un DFE) de 2. Cela permet ainsi d'obtenir une comparaison explicite de la complexité intrinsèque de chaque configuration.

Au niveau du tableau 2, nous avons choisi un panel de profils représentatif des différentes manifestations d'un canal de manière à montrer l'intérêt de chacune des possibilités de reconfiguration (cf tableau 1). Ainsi, la sélectivité fréquentielle du canal augmente de P1 (canal non sélectif en fréquence) à P5 (canal à trois trajets s'étalant sur 2 symboles) et le passage de P2 à P4 permet de visualiser l'influence de la sélectivité temporelle sur les mécanismes de reconfiguration. Nous nous sommes volontairement placés à des rapports signal sur bruit favorables, la chaîne développée ne permettant pas de mettre en place des codes correcteurs d'erreur efficaces.

L'égaliseur de référence correspond à la configuration 9, la plus performante, avec 12 coefficients pour le filtre transverse et 3 pour le filtre récursif. Ce choix *a priori* s'explique, comme dans le cas de la conception classique, par le besoin d'assurer des performances minimum pour les canaux envisagés (pire cas).

La figure 4(a), en complément avec le tableau 4, présente les performances (caractérisées par le taux d'erreur binaire) obtenues pour l'égaliseur de référence ainsi que celles réalisées par l'égaliseur reconfigurable. Pour que la statistique du canal soit suffisamment bien représentée, nous avons simulé l'envoi de 10000 trames pour obtenir les résultats présentés. Globalement, l'égaliseur de référence se comporte mieux que la configuration sélectionnée pour le profil courant mais, dans le cas des profils choisis, la différence n'est pas flagrante. Par contre, comme le montre la figure 4(b), le gain au niveau de la complexité est conséquent puisque le nombre d'opérations moyen passe de 235645 à 35045 ce qui représente une réduction moyenne de 85%. Pour indication, le nombre d'opérations a été calculé en donnant un poids arbitraire de 1 pour les additions, de 2 pour les multiplications et de 5 pour les divisions.

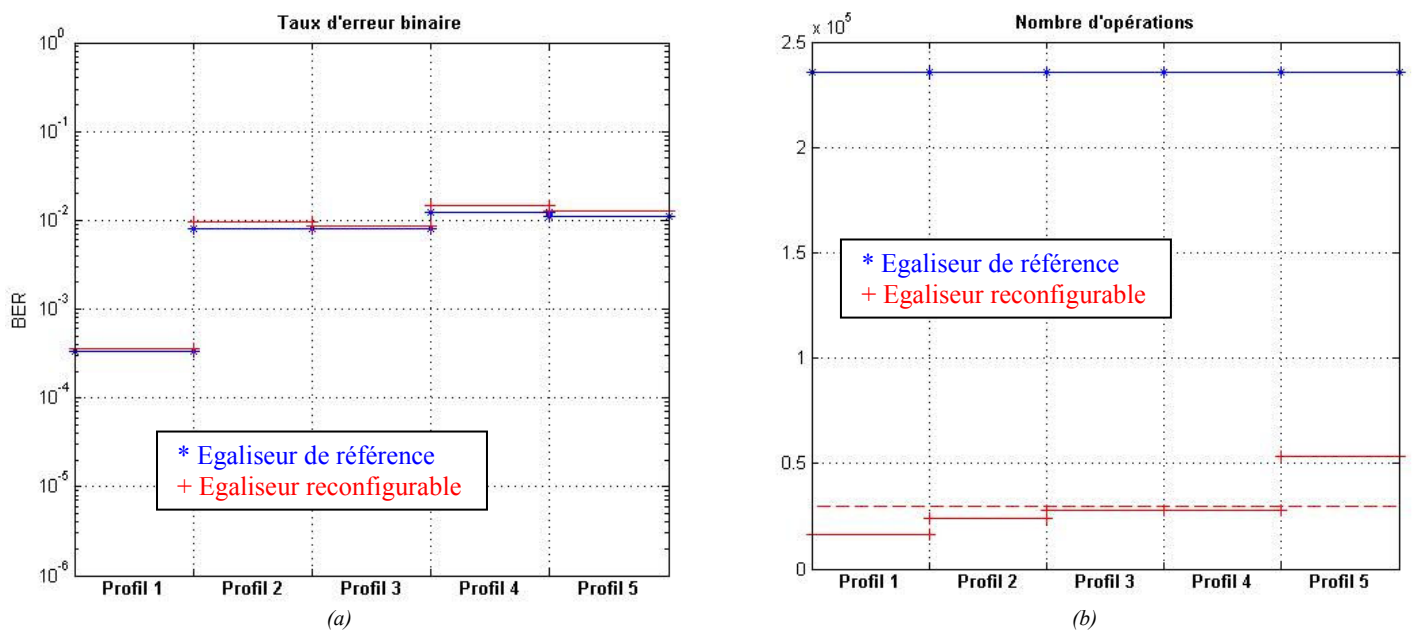


Figure 4: Performances (a) et complexité (b) des deux égaliseurs en fonction du profil de la trame et paramètres de la simulation, (b) Diagramme de blocs du récepteur

	Egaliseur de référence				Egaliseur reconfigurable			
	Config N°	Longueur	BER	Nb Opérations	Config N°	Longueur	BER	Nb Opérations
Profil P1	9	FFF = 12, FBF = 3	0,000329885	235645	3	8	0,000360632	16605
Profil P2	9	FFF = 12, FBF = 3	0,00813477	235645	8	FFF = 8, FBF = 2	0,00973477	23871
Profil P3	9	FFF = 12, FBF = 3	0,008087069	235645	10	FFF = 8, FBF = 2	0,008684483	27798
Profil P4	9	FFF = 12, FBF = 3	0,012324138	235645	10	FFF = 8, FBF = 2	0,014454023	27798
Profil P5	9	FFF = 12, FBF = 3	0,011201437	235645	10	FFF = 12, FBF = 3	0,012873276	79152

Tableau 4: Comparaison des résultats obtenus pour un égaliseur de référence et pour un égaliseur reconfigurable (Taux d'erreur binaire et complexité algorithmique donnée en nombre d'opérations)

Même s'ils sont donnés dans un cas favorable, les résultats présentés témoignent bien de l'intérêt de la reconfiguration dynamique dans la recherche d'un compromis entre performances et complexité de calcul, l'égaliseur reconfigurable obtenant des performances tout à fait convenables pour une diminution importante du nombre moyen d'opérations.

De façon générale, dans beaucoup d'applications, on se fixe un seuil de performances minimum. Par exemple, pour la voix, le taux d'erreur binaire doit être inférieur à 10^{-3} . Ses performances minimum peuvent être atteintes avec une configuration sous optimale par rapport à la configuration "pire cas" si le canal est favorable. Dans ce cas, on privilégie les performances et l'on impose certaines contraintes au processus de décision qui aura tendance à choisir des configurations d'autant plus complexes que le canal est difficile. Inversement, nous pouvons choisir de favoriser l'augmentation de la durée de vie des batteries en acceptant une légère dégradation des performances.

Suivant la richesse des configurations alternatives, nous voyons ainsi que la reconfiguration dynamique permettra de régler finement le compromis entre performances et complexité de calcul.

4. Extensions futures

L'accent dans cette contribution était mis sur les aspects simulation et traitement du signal en réception. Les sujets importants de la caractérisation du canal et du système expert embarqué pour la prise de décision ont été abordés de manière très succincte et feront l'objet de communications ultérieures. Les résultats ne sont que très préliminaires et ont été obtenus sous un certain nombre d'hypothèses très restrictives afin d'illustrer certains aspects techniques. Néanmoins, le problème du comportement cognitif a été bien analysé dans un cadre précis, la réception. Dans ce cadre, les concepts associés, comme l'environnement, l'espace de configuration et son exploration ont été déterminés et rattachés à un corps d'expertise existant.

La figure 5 représente la boucle de contrôle que nous comptons mettre en place dans notre terminal cognitif. Pour y arriver, nous allons appliquer la méthodologie suivante. Dans un premier temps, nous allons cataloguer les caractéristiques du canal ayant une influence sur la configuration (e.g. dispersion temporelle, variabilité dans le temps, non-linéarité). Puis nous sélectionnerons les mesures permettant d'accéder à ces caractéristiques. Enfin, nous identifierons les statistiques qu'il faut calculer pour raisonner sur ces caractéristiques. Nous devons aussi nous poser la question de la fréquence des mesures d'une grande importance sur le compromis performances/complexité. En effet, un contrôle trop fréquent de l'environnement donnera lieu à une complexité supplémentaire non justifiée. Au contraire, un contrôle trop peu fréquent pourra conduire à des baisses de performances, la configuration actuelle n'étant plus adaptée à l'environnement.

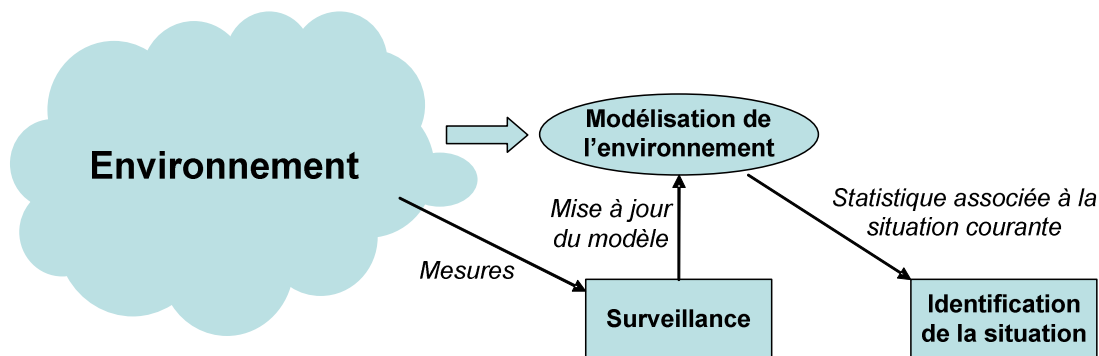


Figure 5: Reconnaissance de l'environnement

Le modèle de l'environnement sera exploité par un système de logique floue. Nous pensons, en effet, que la logique floue est un outil particulièrement adapté pour le problème en question. Elle nous permettra, d'une part, de gérer l'incertitude associée aux mesures et, d'autre part, de prendre en compte l'imprécision inhérente à tout raisonnement. Etant donné le nombre élevé de degrés de liberté, nous préférons opter pour un raisonnement qualitatif.

Une fois la situation identifiée, le choix de la configuration adéquate se fera par l'application de règles intégrées dans le système expert embarqué. Il sera alors nécessaire de mettre en place une méthode de validation des choix en comparant, comme le fait le cerveau humain [Zimm], les performances obtenues avec celles qui étaient attendues. Suivant les résultats de la validation, il sera alors peut-être nécessaire de mettre à jour le moteur d'inférence.

Conclusion

La radio cognitive est un domaine technique aux frontières des télécommunications et de l'intelligence artificielle. Une radio cognitive est, avant tout, un système radio qui met en place, en plus de sa fonction principale (i.e. la communication), un "cycle cognitif" qui lui permet de comprendre son contexte et d'agir en conséquence. Nous étudions ce cycle cognitif dans le cadre d'un récepteur reconfigurable dans l'optique de réaliser dynamiquement des compromis de conception comme, par exemple, le compromis entre performances et complexité de calcul.

Ce travail est une étape intermédiaire vers notre objectif final de formalisation du processus de décision multicritères associé au système expert embarqué qu'il faudrait envisager d'intégrer à tout système cognitif censé évoluer de manière autonome dans un environnement variable.

Références bibliographiques

1. [Forn] G. D. Forney, "Maximum-likelihood sequence estimation of digital sequences in the presence of intersymbol interference," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. IT-18, pp. 363-378, May 1972
2. [Husson] L. Husson, J.-C. Dany, "A new method for reducing the power consumption of portable handsets in TDMA mobile systems: conditional equalization", IEEE Trans. Vehicular Technology Conf., Vol. 48, n°6, pp. 1936 – 1945, Nov. 1999
3. [Mit1] J. Mitola, "Cognitive radio making software radios more personal", IEEE Personal Communications, pp. 13 – 18, August 1999
4. [Mit2] J. Mitola, "Software radios: Technology and prognosis", in Proc. Nat. Telesyst. Conf., IEEE, NY, May 1992
5. [Proa1] J. G. Proakis, "Digital Communications", 4th ed. New York: McGraw-Hill, Aug. 2000
6. [Proa2] J.G. Proakis, "Adaptive equalization for TDMA digital mobile radio", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, Issue 2, pp. 333-341, May 1991
7. [Qure] S.U.H. Qureshi, "Adaptive Equalization", Proceedings of the IEEE, Vol. 73, n° 9, pp 1349-1387, Sept. 1985
8. [Sklar1] - B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems. I. Characterization", IEEE Comm. Magazine, Vol. 35, Issue 7, pp. 90 – 100, Jul. 1997
9. [Sklar2] - B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems. II. Mitigation", IEEE Comm. Magazine, Vol. 35, Issue 7, pp. 102 – 109, Jul. 1997
10. [Treich] J.R. Treichler, I. Fijalkow, and C.R. Johnson, Jr – "Fractionally Spaced Equalizers", IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 13, Issue 3, pp. 65–81, May 1996
11. [Zimm] C. Zimmer , "The Neurobiology", Scientific American, pp.65 – 71, Nov. 2005