



## Conférences invitées : Exemples d'optimisations énergétiques dans les systèmes radios sans fil

**Pousset Yannis**

Laboratoire XLIM équipe Réseaux et Systèmes de Télécommunication (RESYSYT), {yannis.pousset}@univ-poitiers.fr

Mots-clefs (*en français et en anglais*) : Optimisation inter-couches, Energie, QoS, Réseaux sans fil.  
Cross-layer optimization, Energy, QoS, Wireless networks

### Résumés

Cet article introduit différentes stratégies d'optimisation développées dans l'équipe de recherche RESYST d'XLIM en vue des transmissions radios. L'objectif est d'assurer une qualité de service (QoS) demandée, tout en garantissant une consommation énergétique minimale dans les systèmes sans fil. Pour cela, l'étude consiste en une « approche systémique globale » tenant compte des spécificités des communications sans fil telles que le canal sans fil, le contenu multimédia, ... sous contraintes d'énergie, de débit, de QoS, ....

This article is about some optimization strategies, which have been developed in the RESYST research team of XLIM in radio transmission context. The target is to ensure the Quality of Service (QoS) while guaranteeing an optimal energetic consumption of the wireless systems. For this, the approach consists in a "global approach system" which takes into account specificities of the wireless transmission such as the wireless channel behavior, the multimedia content, ... under constraints such like energy, rate, QoS, ....

### Introduction

Les travaux de l'équipe de recherche RESYST s'inscrivent dans la problématique des réseaux de communication du futur et des systèmes embarqués communicants. Plus précisément, notre objectif est de contribuer aux techniques de gestion des ressources radios limitées, indispensables à la mise en place du concept de « Radio flexible ». Ainsi, une approche « système » basée sur des compétences en « propagation d'ondes électromagnétiques, communications numériques et traitement de l'information » a été engagée depuis une dizaine d'années, consistant à intégrer différentes dimensions dans les solutions proposées : le codage de l'information à transmettre, la transmission elle-même avec en particulier le canal de transmission et différentes métriques de qualité (au niveau canal, bit, réseau, voire perceptuel) liées aux attentes de l'utilisateur compte tenu du contexte applicatif. Nos travaux sont, dès lors, centrés sur des stratégies d'échange d'informations entre entités mobiles intelligentes évoluant au sein de réseaux sans fil sous conditions de qualité de services/ d'usage et d'efficacité énergétique, en environnement électromagnétique complexe. Ainsi, ce papier présente nos activités en deux actions : la première, dans le contexte des réseaux cellulaires, considère d'une part, la gestion des ressources pour une meilleure QoS (visuelle, ...), et d'autre part, l'optimisation de la consommation énergétique du point de vue amplification et contrôle de puissance ; la deuxième, dans le cadre des réseaux de capteurs, vise le meilleur compromis entre la robustesse et les retransmissions pour une plus grande autonomie du réseau.

## 1. Optimisation de la transmission des réseaux cellulaires en termes de QoS et d'énergie

### 1.1. Allocation des ressources en lien avec la QoS

Globalement, la démarche consiste à mettre en adéquation une stratégie de hiérarchisation de l'information multimédia à transmettre et une hiérarchisation du canal MIMO pour respecter des critères de QoS (robustesse, latence, débit), d'utilisateurs multiples, et d'efficacité énergétique intrinsèquement liée à l'application considérée [1]. La vision systémique développée conduit ainsi à une approche inter-couches (Physique, MAC et Application). Du côté de la couche Application, l'information multimédia (H.264, JPWL, ...) à transmettre est décomposée en plusieurs couches de qualité classées par ordre d'importance décroissante. Du côté de la couche physique, le canal MIMO est décomposé en plusieurs sous-canaux SISO classés dans l'ordre décroissant des Rapport Signaux à Bruit. Enfin, du côté de la couche MAC, des fonctions de priorité permettent d'affecter les différents services en fonctions des ressources disponibles. Dès lors, l'idée première de cette stratégie de transmission consiste à associer les couches de qualité du contenu multimédia aux sous-canaux SISO en respectant la correspondance en termes de hiérarchie et de priorité. Un précodeur MIMO agit alors comme un lien entre la source et le canal en allouant la puissance sur les sous-canaux pour la transmission des différentes couches de qualité via l'optimisation d'un critère propre au précodeur. L'architecture de cette transmission permet d'appliquer facilement une stratégie d'allocation de puissance inégale (UPA : Unequal Power Allocation), apportant ainsi de la robustesse au schéma sans nécessairement de redondance. Les résultats obtenus montrent un meilleur comportement du système (en robustesse, ...) aux fortes dégradations du canal contrairement aux approches classiques.

## 1.2. Consommation énergétique

### 1.2.1. Amplificateur de puissance : Réduction du PAPR

La modulation multi-porteuses OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) a été adoptée dans de nombreux standard de communication, permettant ainsi d'atteindre une bonne efficacité spectrale avec une bonne robustesse de la transmission. Toutefois, l'un des principaux inconvénients de cette technique concerne les fortes fluctuations en amplitude de l'enveloppe du signal modulé. Ces fluctuations peuvent être caractérisées par un PAPR (Peak to Average Power Ratio) élevé ; ce dernier étant défini comme le rapport entre la puissance maximale et la puissance moyenne du signal OFDM. La transmission de signaux à fort PAPR a une incidence sur les performances des dispositifs non-linéaires, en particulier l'amplificateur de puissance, représentant l'élément le plus consommateur d'énergie dans une chaîne de transmission. L'objectif global de l'équipe a dès lors consisté à optimiser les performances d'un système de transmission multimédia sans fil basé sur la réduction du PAPR dans des configurations réalistes MIMO en prenant en compte le contenu à transmettre, les non-linéarités statiques et dynamiques de l'amplificateur et les distorsions apportées par le canal. Pour ce faire, il a été choisi de travailler avec la méthode TR (Tone Reservation), appartenant à la classe dite « ajout du signal » [2]. Le choix de cette méthode est directement lié à sa simplicité d'implémentation. Ainsi, la méthode TR a été optimisée en rapidité de convergence et en réduction du PAPR avec l'utilisation de l'algorithme du gradient conjugué. Il a été montré que cette approche permet une amélioration de la qualité de transmission tout en réduisant de 18 % la puissance consommée.

### 1.2.2. Contrôle de Puissance

Le développement croissant des réseaux sans fil et le problème de l'autonomie énergétique des nœuds communicants a encouragé la communauté scientifique à développer plusieurs stratégies de contrôle de la puissance de transmission pour la liaison montante. Nous montrons que dans ce cadre, le contrôle de la puissance pour la liaison montante peut être modélisé comme un problème de stabilisation d'un système linéaire discret avec une contrainte sur l'état et un retard sur la commande, et soumis à une perturbation bornée. C'est pourquoi nous proposons une nouvelle approche basée sur une commande par potentiel dénommée PFC (Potential Feedback Control). A l'origine, le PFC a été développée pour des applications liées à la robotique pour éviter les collisions avec des obstacles. L'idée était de mettre en place un potentiel virtuel répulsif autour des obstacles. Nous avons repris cette idée et l'avons adaptée à notre problématique. La principale difficulté de cette stratégie est due à la non linéarité introduite par la commande. La preuve de stabilité est obtenue en utilisant la théorie de Lyapunov. Une nouvelle commande est ainsi obtenue, elle permet d'une part d'améliorer la QoS, et d'autre part de réduire la puissance de transmission des nœuds [3]. La réduction de la puissance de transmission diminue globalement à la fois les interférences des autres appareils et la consommation énergétique des nœuds.

## 2. Optimisation de la consommation énergétique dans les réseaux de capteurs

La principale problématique rencontrée par ce type de réseau est l'autonomie, qui exige une durée de vie de plusieurs années et impose ainsi une grande efficacité énergétique des transmissions sans fil. De nombreuses études montrent en effet, que la mise en place d'un système multi-sauts lié à une stratégie de routage optimisée permet à la fois de réduire la puissance d'émission et d'allonger les portées de transmission. En contre partie, les nœuds du réseau doivent être plus souvent à l'écoute des autres pour recevoir les paquets à retransmettre et le surcoût énergétique lié au traitement du routage peut dans certains cas compromettre les avantages énergétiques acquis. Dans le cadre de ces travaux, nous proposons d'améliorer l'efficacité énergétique des transmissions sans fil en portant nos efforts sur l'optimisation conjointe des couches physique et MAC [4]. Sachant que les performances de la couche physique impactent directement l'efficacité des autres couches, l'approche développée a consisté à modéliser de façon réaliste la chaîne de transmission numérique. Ensuite, à partir de cette modélisation de la couche physique et d'un modèle d'énergie existant, la qualité des liens radio a été évaluée de façon à trouver le meilleur compromis entre la robustesse et l'efficacité énergétique des transmissions radio. Pour étendre notre raisonnement à l'échelle d'un réseau, la suite des travaux s'est portée sur l'étude de la couche MAC. En raison de l'interdépendance des paramètres affectant la consommation, la méthode choisie a consisté à évaluer par une approche inter-couches les performances énergétiques de différents protocoles MAC, en prenant en compte l'impact des performances de la couche physique dans l'évaluation.

## Références bibliographiques

- 1- S.Kambou, C.Perrine, M.Afif, Y.Pousset, C.Olivier. « Resource allocation based on cross-layer QoS-guaranteed scheduling for multi-service multi-user MIMO-OFDMA systems ». *Wireless Networks*, Springer US, pp.1-22, January 2016, DOI : 10.1007/s11276-015-1183-x.
- 2- B.Koussa, C.Perrine, S.Bachir, R.Vauzelle, C. Duvanaud. « An evaluation of PAPR reduction effects in OFDM systems using several power amplifier models ». *New Circuits and Systems Conference (NEWCAS), 2013 IEEE 11th International*, vol., no., pp.1-4, 16-19 June 2013.
- 3- D-D.Phan, E.Moulay, P.Coirault, F.Launay, P.Combeau. « Potential Feedback Control for the Power Control in LTE ». *IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL*, VOL. 60, NO. 9, SEPTEMBER 2015
- 4- D.Dessales, N.Richard, A-M.Poussard, R.Vauzelle, C.Martinsons. « Cross-Layer Energy Analysis and Proposal of a MAC Protocol for Wireless Sensor Networks Dedicated to Building Monitoring Systems ». *Wireless Sensor Network*, 2013, 5 (5), pp.91-104.