

Une approche cognitive des systèmes de communication UWB-IR

Daniele DOMENICALI¹, Jocelyn FIORINA², Maria-Gabriella DI BENEDETTO¹

¹Infocom Department, University of Rome La Sapienza,
via Eudossiana, 18, 00184 Rome, Italie. dome@newyork.ing.uniroma1.it

²Supélec, Plateau du Moulon, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, France
dome@newyork.ing.uniroma1.it, jocelyn.fiorina@supelec.fr, gaby@acts.ing.uniroma1.it

Résumé – Dans le contexte émergent de coexistence des systèmes de communication sans fil, nous étudions et analysons la possibilité d'adaptation de la transmission et des paramètres du réseau aux changements imprévisibles de l'environnement radio. Le paradigme de la radio cognitive est appliqué aux systèmes UWB en adaptant les paramètres du signal et en adoptant une procédure de contrôle d'admission basée sur la perception de l'environnement radio, l'aspect particulier des interférences lors de la réception des signaux UWB-IR est pris en compte. Nous montrons que des résultats significatifs sont obtenus en termes d'efficacité énergétique du réseau grâce à l'introduction de mécanismes cognitifs dans le contexte des systèmes sans fil IEEE 802.15.4a.

Abstract – In the emerging scenario of coexisting wireless networks, the possibility of adapting transmission and network parameters to the unpredictable changes in the surrounding environment is studied and analyzed. The cognitive paradigm is applied to UWB systems by properly tuning signal parameters and by adopting an admission control procedure based on the perception of the surrounding environment. In the context of wireless networks consisting of IEEE 802.15.4a devices, we show that significant results can be achieved in terms of bit error rate and network efficiency by introduction of cognitive mechanisms.

1 Introduction

La coexistence avec d'autres systèmes sans fil est un problème intrinsèque aux systèmes radio UWB (Ultra Wide Band) de part la largeur de bande occupée par de tels systèmes. Le problème d'interférence entre les systèmes UWB est lui aussi particulièrement délicat. Un système utilisant la radio cognitive devrait être capable de déterminer les caractéristiques des interférences radio environnantes et de changer si nécessaire certains paramètres de transmission. L'UWB par impulsions radio (IR) permet une grande flexibilité pour agir sur la densité spectrale de puissance des signaux transmis et leurs propriétés statistiques, plusieurs paramètres du signal peuvent être changés : le type de codes de sauts temporels [3], le type de modulation et la forme des impulsions.

L'objectif de cet article est d'analyser l'impact de l'introduction de mécanismes cognitifs sur les performances d'un réseau UWB de type IEEE 802.15.4a. Les mécanismes cognitifs sont introduits dans la sélection des paramètres du signal et dans la procédure de contrôle d'admission dans le réseau, les concepts de la radio cognitive dans un tel contexte sont définis dans [5]. Les variations des paramètres et le comportement du réseau dépendent de la perception de l'environnement. La caractérisation des interférences du côté du récepteur est souvent loin d'être correcte lorsqu'elle utilise simplement des distributions Gaussienne, une estimation plus exacte et permettant de meilleurs résultats est obtenue grâce à l'utilisation de Gaussiennes Généralisées [2]. Le récepteur doit donc

capter les caractéristiques des interférences afin d'estimer, entre autres, les paramètres de la Gaussienne Généralisée.

2 Description du système

Nous considérons des signaux IR-UWB (Impulse Radio Ultra Wide Band) à sauts temporels et modulation par position de l'impulsion. Avec une propagation en espace libre le signal reçu peut s'écrire de la manière suivante :

$$r(t) = \sqrt{P_{RX}T_s} \sum_j p_w(t - jT_s - c_j - a_j\epsilon - \tau) + n_e(t) + n_{mui}(t) \quad (1)$$

P_{RX} est la puissance reçue, T_s est la période symbole, $p_w(t)$ est la forme d'onde de l'impulsion, $c_j < T_s$ est le code de saut temporel (Time Hopping Code, TH code), a_j est le symbole (0 ou 1) porté par l'impulsion, ϵ est le décalage utilisé pour la modulation, τ est le délai de propagation. $n_e(t)$ est la somme du bruit additif gaussien et des interférences externes provoquées par des systèmes à bande étroite, $n_{mui}(t)$ est l'interférence multi utilisateurs (MUI) due aux autres émetteurs UWB.

Pour le j -ème bit, la sortie du récepteur à corrélation est alors la variable de décision $Z(j)$:

$$Z(j) = \int r(t)m_w(t - \tau)dt \quad (2)$$

où $m_w(t)$ est le masque de corrélation pour le j -ème

bit :

$$m_w(t) = p_w(t - jT_s - c_j) - p_w(t - jT_s - c_j - \epsilon) \quad (3)$$

Le rapport signal à bruit à la sortie du corrélateur s'écrit dans le cas de contrôle de puissance parfait et avec $N - 1$ émetteurs UWB interférants [1] :

$$SNR = T_s \cdot \frac{P_{RX}}{\eta_{p,2}(w) + \sigma_m^2(w)(N - 1)P_{RX}} \quad (4)$$

avec :

$$\sigma_m^2(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} p_w(t + z) [p_w(t) - p_w(t - \epsilon)] dt \right]^2 dz \quad (5)$$

$\eta_{p,2}(w)$ est la variance du bruit (plus interférences non UWB) en sortie du corrélateur due à l'entrée $n_e(t)$.

Afin de caractériser les interférences (bruit plus interférences non UWB et interférences multi utilisateurs UWB) au niveau des récepteurs UWB, il convient également de trouver les paramètres de la Gaussienne généralisée qui modélise leur distribution [2]. La densité de probabilité des distributions Gaussiennes généralisées a la forme suivante, β est le paramètre à estimer :

$$p(x) = \frac{c_1(\beta)}{\sqrt{\sigma^2}} \exp\left(-c_2(\beta) \left| \frac{x}{\sqrt{\sigma^2}} \right|^{\frac{2}{1+\beta}}\right) \quad (6)$$

$$\text{avec } c_1(\beta) = \frac{\Gamma^{\frac{1}{2}}\left(\frac{3}{2}(1+\beta)\right)}{(1+\beta)\Gamma^{\frac{1}{2}}\left(\frac{1}{2}(1+\beta)\right)} \text{ et } c_2(\beta) = \left[\frac{\Gamma\left(\frac{3}{2}(1+\beta)\right)}{\Gamma\left(\frac{1}{2}(1+\beta)\right)} \right]^{\frac{1}{1+\beta}}$$

On a $\beta > -1$ et $\Gamma(x)$ est la fonction Gamma : $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} u^{x-1} \exp(-u) du$

Le lien entre le coefficient β de la gaussienne généralisée et la kurtosis $\gamma = \frac{E[x^4]}{E[x^2]^2} - 3$ est donné par [2] :

$$\gamma = \kappa(\beta) = \frac{\Gamma\left(\frac{5(1+\beta)}{2}\right) \Gamma\left(\frac{(1+\beta)}{2}\right)}{\left(\Gamma\left(\frac{3(1+\beta)}{2}\right)\right)^2} - 3 \quad (7)$$

Après quelques calculs, nous pouvons exprimer la kurtosis des interférences à la sortie du corrélateur (bruit plus MUI UWB et interférences non UWB). Cette expression est reporté equation (8).

Dans (8), $\eta_{p,4}(w)$ est le moment d'ordre 4 du bruit (plus interférences non UWB) à la sortie du corrélateur due à l'entrée $n_e(t)$.

Toujours dans (8) :

$$m_4(w) = P_{RX}^2 T_s \int_{-\infty}^{+\infty} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} p_w(t + z) [p_w(t) - p_w(t - \epsilon)] dt \right]^4 dz \quad (9)$$

$$m_2(w) = P_{RX} \sigma_m^2(w) \quad (10)$$

3 Mécanisme cognitif de contrôle d'admission

Nous considérons une architecture où les communications passent par un noeud désigné, dénommé Conscious

Node (CNode). Il s'agit donc d'une architecture centralisée et nous nous focalisons sur le liens montant (uplink). Le Cnode implémente les concepts de radio cognitive et joue le rôle de coordinateur. L'échange de données entre le CNode et un autre noeud requière la mise en place d'un canal de communication qui est défini par un unique TH code. Il faut également définir : la forme de l'impulsion $p_w(t)$, la puissance d'émission. Dans un tel système les performances d'un lien entre un noeud actif et le Cnode sont données par le SNR (4) et par la forme des interférences régie par le paramètre β . La synchronisation est une étape primordiale pour établir une connexion. Comme il est décrit dans le protocole proposé dans [6], les paquets de bits envoyés contiennent un entête qui permet la synchronisation. Pour une longueur fixe et suffisamment longue de cet entête, les performances de synchronisation dépendent du rapport signal à bruit plus interférences, ainsi que du coefficient β caractérisant la distribution des perturbations bruit+interférences. En utilisant un détecteur qui exploite la non Gaussiannité des interférences (détecteur à test de Rao [7] [8]), un changement du coefficient β est équivalent à un gain $G(\beta)$. Afin de garantir une certaine performance, il faut donc que le SNR corrigé par le gain $G(\beta)$ soit au moins égal à un seuil SNR_0 :

$$G \cdot SNR = G \cdot \frac{T_s P_{RX}}{\eta_{p,2}(w) + \sigma_m^2(w)(N - 1)P_{RX}} \geq SNR_0 \quad (11)$$

avec

$$G = \left[\frac{4}{(1 + \beta)^2} \frac{\Gamma\left(\frac{3}{2}(1 + \beta)\right) \Gamma\left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}\beta\right)}{\Gamma^2\left(\frac{1}{2}(1 + \beta)\right)} \right] \quad (12)$$

Remarquons que, vu la présence de β dans (12), G dépend des paramètres présents dans (7) (8), y compris P_{RX} .

A partir de la perception de son environnement, le CNode estime $\eta_{p,2}(w)$ et $\eta_{p,4}(w)$ et calcule par l'intermédiaire de (5) (8) (7) (12) la valeur minimale de puissance $P_{min}(w)$ qui doit être reçue de chaque noeud pour garantir la condition (11) :

$$P_{min}(w) = \frac{\eta_{p,2}(w)}{T_s} \left(\frac{G}{SNR_0} - \frac{\sigma_m^2(w)(N - 1)}{T_s} \right)^{-1} \quad (13)$$

Puisque M différentes formes d'ondes sont disponibles, le CNode applique (13) afin de déterminer la forme d'onde la mieux adaptée à son environnement (celle qui requière la plus faible puissance). Le Cnode détermine ainsi la forme d'onde à utiliser et la puissance correspondante. Cette information est transmise dans un message de contrôle au noeud actif par piggybacking comme le prévoit le protocole proposé dans [5]. Le CNode évalue également les paramètres nécessaires à l'admission d'un nouvel utilisateur, si l'occasion se manifeste, et transmet les informations correspondantes de puissance et forme d'ondes à l'ensemble du réseau (message broadcasté). Un noeud actif ayant besoin d'une certaine qualité de service peut alors refuser l'admission du nouvel utilisateur si les nouvelles conditions de puissance ne lui permettaient plus d'assurer les performances requises.

L'introduction d'un tel mécanisme cognitif permet une consommation énergétique optimisée.

$$\gamma = \frac{\left[(N-1)m_4(w) + \eta_{p,4}(w) + 6(N-1)m_2(w)\eta_{p,2}(w) + 6\frac{(N-1)(N-2)}{2}m_2^2(w) \right]}{\left[(N-1)m_2(w) + \eta_{p,2}(w) \right]^2} - 3 \quad (8)$$

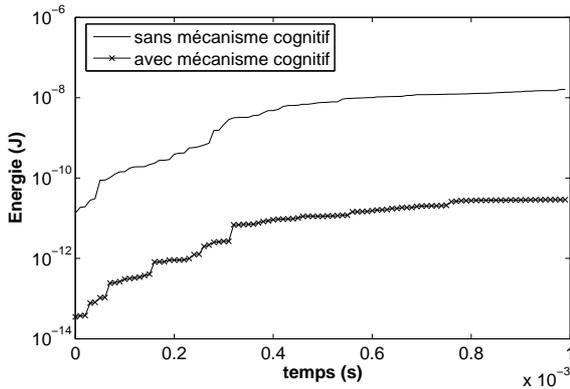


FIG. 1 – Energie consommée par un noeud dans le cas où le CNode inclut le mécanisme cognitif et dans le cas où il ne l'inclut pas.

4 Simulations

Afin de simuler le comportement du réseau implémentant les mécanismes décrits dans cet article nous avons utilisé les paramètres du scénario des simulation présentés dans [4]. Des émetteurs interférents à bande étroite apparaissent et disparaissent au cours du temps. La dynamique du réseau UWB suit donc les évolutions de son environnement en adaptant les formes d'ondes et les puissances émises. Les formes d'ondes possibles que nous avons considérées pour $p_w(t)$ sont les 6 premières dérivées impaires de l'impulsion Gaussienne.

Nous avons comparé un système fonctionnant avec le mécanisme cognitif décrit dans cet article et un système sans mécanisme cognitif, où la forme d'onde est fixée au début du fonctionnement du réseau et n'est plus optimisée à chaque instant en fonction des interférences et où la puissance P_{min} est estimée sans prendre en compte le gain G du aux caractéristiques particulières des interférences. Dans le dernier cas, le CNode est adaptatif, étant donné qu'il évalue la puissance minimum P_{min} nécessaire avec une forme d'onde qui a été fixée dès le début, mais il n'est pas cognitif, car il ne choisit pas de manière continue entre plusieurs stratégies pour optimiser l'utilisation de la ressource en fonction de sa perception de l'environnement interférent (ce qui est essentiel dans la définition de mécanismes cognitifs).

En traçant l'énergie dépensée par un noeud actif au cours du temps (Fig.1), nous pouvons constater que l'utilisation d'un CNode implémentant les mécanismes cognitifs qui prend en compte l'aspect particulier des interférences sur les systèmes UWB-IR permet une optimisation des dépenses énergétiques.

Références

- [1] M.-G. Di Benedetto, G. Giancola, *Understanding Ultra Wide Band, Radio Fundamentals*, Upper Saddle River, New Jersey : Prentice Hall Pearson Education, Inc., 2004.
- [2] J. Fiorina, "Elaboration of a simple receiver adapted to Multi-User Interferences in Impulse Radio Ultra Wide Band," *IEEE Globecom 2006*, San Francisco, 27 November-1 December 2006.
- [3] D.Domenicali, G. Giancola, and M.-G. Di Benedetto, "Fluid Coding and Coexistence in Ultra Wide Band Networks," *Mobile Networks and Applications*, vol.11 no.4, pp. 521-534, 2006.
- [4] G. Giancola, D. Domenicali, M.-G. Di Benedetto, "Cognitive UWB : interference mitigation by spectral control," *International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM 2006)*, Mykonos Island, Greece, June 8-10, 2006.
- [5] M.-G. Di Benedetto, G. Giancola and M.D. Di Benedetto, "Introducing Consciousness in UWB networks by Hybrid Modelling of Admission Control," *Mobile Networks and Applications*, vol.11 no.4, pp. 521-534, 2006.
- [6] M.-G. Di Benedetto, L. De Nardis, G. Giancola, D. Domenicali "The Aloha access (*UWB*)² protocol revisited for IEEE 802.15.4a," to appear in *ST Journal of Research* Vol. 4, No. 1, 2007.
- [7] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing : Detection Theory*, Englewood Cliffs : Prentice Hall 1998.
- [8] L. Reggiani and J. Fiorina, "Analysis of Hybrid Acquisition Schemes for Ultra Wide Band Impulse Radio," *PIMRC*, 2006, Helsinki, 11-14 September.

