

Allocation de ressources multi-débit pour la radio ULB impulsionnelle

Philippe Mary, Inbar Fijalkow, Charly Poulliat

▶ **To cite this version:**

Philippe Mary, Inbar Fijalkow, Charly Poulliat. Allocation de ressources multi-débit pour la radio ULB impulsionnelle. GRETSI 2013, Sep 2013, Brest, France. pp.1-4. hal-00869364

HAL Id: hal-00869364
https://hal.science/hal-00869364

Submitted on 3 Oct 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Allocation de ressources multi-débit pour la radio ULB impulsionnelle

Philippe MARY[1], Inbar FIJALKOW[2], Charly POULLIAT[3]

[1]UEB, INSA, IETR UMR-CNRS 6164
20 avenue des Buttes de Coësmes, 35708 Rennes

[2]ETIS, ENSEA, Université de Cergy-Pontoise, CNRS
Cergy-Pontoise

[3]IRIT/INPT-ENSEEIHT
2, rue Camichel, Toulouse

philippe.mary@insa-rennes.fr
inbar.fijalkow@ensea.fr
charly.poulliat@enseeiht.fr

Résumé – Dans cet article, nous considérons un système de communication multi-utilisateurs mettant en oeuvre une couche physique ultra-large bande (ULB) impulsionnelle à répartition par code. Nous nous intéressons tout d'abord à l'expression de la variance de l'interférence d'accès multiple (IAM) lorsque les utilisateurs ont des durées symboles différentes grâce à un nombre de trames, N_f, variable selon les utilisateurs. Nous nous intéressons ensuite au problème de la maximisation du débit global en affectant un nombre de trames différent pour chaque utilisateur sous contrainte de qualité de service (QoS) hétérogène pour certaines classes d'utilisateurs. Nous proposons une heuristique à complexité linéaire avec le nombre d'utilisateurs pour l'allocation du nombre de trames et évaluons ses performances par rapport à deux algorithmes de références.

Abstract – In this paper, we consider a multi-user communication system using a time hopping ultra wide-band physical layer. In a first place, we search for an expression of the multiple access interference variance when users have different symbol durations due to variable number of frames, N_f, in one symbol. Finally, we deal with the global rate maximization problem by allocating the number of frames between the users under heterogeneous QoS constraints. We propose an heuristic with a linear complexity with the number of users for the allocation of the number of frames and we study its performances w.r.t. two other algorithms.

1 Introduction

Le signal ultra large bande (ULB) a suscité beaucoup d'intérêt de la part du monde académique et industriel ces dernières années. Cette technologie présente en effet quelques avantages notables : haut débit pour une puissance consommée faible et capacité de localisation importante. Cependant, étant donnée les fortes contraintes de masque que le signal ULB se doit de respecter, il est impératif de limiter les interférences entre utilisateurs sur cette technologie. La radio ULB à code de saut temporel (ULB-CST) est une technique d'accès au canal à répartition par code (CDMA) ; plusieurs utilisateurs peuvent accéder au canal en même temps sur la même fréquence en ayant chacun un code de saut temporel (CST) différent. Les auteurs de [1] ont montré que l'on pouvait trouver des codes qui minimisent la variance de l'interférence d'accès multiple (IAM), mais sans considérer le cas général où les utilisateurs peuvent avoir des durées symboles (et donc des débits) différents.

D'un autre côté, l'allocation de ressources est une tâche essentielle pour les réseaux afin d'assurer un fonctionnement optimal en terme de débit ou de qualité de service (QoS). Dans ce papier, nous nous intéressons aux stratégies de maximisation du débit global dans le lien montant. Du fait de la très large bande des signaux considérés, une allocation de puissance fine ne peut-être envisagée. De plus, il a été montré qu'un contrôle de débit est un moyen efficace pour atteindre des débits importants pour les communications multi-utilisateurs [2].

La maximisation du débit d'un réseau se fait généralement sous contraintes d'une certaine QoS pour les utilisateurs sous peine d'en voir certains privés de ressources. Ce critère est généralement le rapport signal à interférence plus bruit (RSIB). Il est donc important de pouvoir calculer cette quantité, ce qui reste difficile étant donné la structure particulière d'un symbole ULB-CST avec son partitionnement à N_c chips et N_f trames. Le travail en [3] porte sur un modèle de (RSIB) pour des communications multi-débit ; c-à-d. avec des durées symboles variables, mais l'expression est basée sur une approximation de la variance de l'IAM. De plus les auteurs ne considèrent que le cas d'un canal à bruit blanc additif gaussien (BBAG) ainsi que le cas où les rapports des gains de traitement entre les utilisateurs (autrement dit les rapports entre les nombres de trames de deux utilisateurs pris deux-à-deux) sont des entiers. Ces hypothèses simplifient significativement l'analyse et sont donc un peu moins réalistes que celles consistant à considérer un canal

à trajets multiples et des rapports de gain de traitement rationnels. De plus, ces travaux ne s'intéressent pas à l'allocation des trames parmi les utilisateurs.

Dans ce travail, un modèle du RSIB pour des communications ULB-CST multi-débit est proposé, ce qui étend les résultats de [1]. Nous proposons une heuristique à complexité linéaire avec le nombre d'utilisateurs pour l'allocation du nombre de trames et évaluons ses performances sous contrainte de QoS hétérogène ce qui complète les résultats de [4, 5]. Dans la section 2 nous présentons le modèle du signal et les différentes hypothèses afférentes. Dans la section 3 nous présentons un algorithme d'allocation de trames à complexité linéaire et la section 4 présente les résultats numériques de l'étude.

2 Modèle de signal et hypothèses

2.1 Modèle de signal

Soit un réseau cellulaire en liaison montante avec N_u utilisateurs et une station de base (BS). Chaque utilisateur accède au canal de manière asynchrone avec son propre CST. Un symbole ULB est constitué de N_f trames chacune constituée de N_c chips de durée T_c [1]. La durée symbole de l'utilisateur u est $T_s^{(u)} = N_c N_f^{(u)} T_c$ et est variable d'un utilisateur à l'autre. Le signal ULB mis en forme est envoyé à travers un canal à N_p trajets et traité à la BS par un récepteur rake contenant L_r doigts. L'interférence entre symbole (IES) peut être négligée en insérant un temps de garde adéquat à la fin de chaque trame [1]. Le signal de l'utilisateur u reçu et traité s'écrit $z^{(u)} = z_u + z_{iam} + \eta^{(u)}$ avec :

$$z_u = \sqrt{P_u} \sum_{l=1}^{L_r} \left(A_u^l\right)^2 N_f^{(u)} d_u(0), \quad (1)$$

$$z_{iam} = \sum_{l=1}^{L_r} A_u^l \sum_{\substack{u'=1 \\ u' \neq u}}^{N_u} \sqrt{P_{u'}} \sum_{n=1}^{N_p} A_{u'}^n y_{u',u}^{n,l}(\theta_{u'}), \quad (2)$$

où z_u et z_{iam} sont le signal utile et l'IAM respectivement. $\eta^{(u)}$ est un bruit gaussien filtré de densité spectrale monolatérale N_0 et P_u est la puissance de l'utilisateur u reçue à la BS après une propagation en espace libre. De même A_u^n est l'amplitude du $n-$ième trajet du $u-$ième utilisateur [1, 6]. Les d_u sont les symboles PAM transmis avec $\mathbb{E}\left[d_u^2\right] = 1$ et $\theta_{u'}$ est l'asynchronisme entre les utilisateurs. $y_{u',u}^{n,l}(\theta_{u'})$ est une expression dépendant de la fonction de corrélation de la forme d'onde mais aussi de l'intercorrélation des codes et qui est omise ici par manque de place [5].

2.2 Variance de z_{iam}

La variance de l'IAM est obtenue en moyennant sur les symboles, les amplitudes et les retards des trajets, l'asynchronisme et sur les codes (voir [5] pour une preuve) :

Théorème 1 (Variance of z_{iam}) *Dans les communications ULB-CST multi-débit à modulation PAM, la variance de l'IAM est :*

$$V_{iam}^{(u)} = \Lambda \sum_{\substack{u'=1 \\ u' \neq u}}^{N_u} \frac{P_{u'}}{N_f^{(u')}} \left(M_c^+(u,u') \mathbb{1}_{\alpha^{(u')} \geq 1} + M_c^-(u,u') \mathbb{1}_{\alpha^{(u')} < 1} \right) \quad (3)$$

avec

$$M_c^+(u,u') = N_f^{(u')} \left[3N_c \left(N_c^2 + N_c N_f^{(u')} - 1 \right) N_f^{(u)} - N_c^2 {N_f^{(u')}}^2 + 1 \right], \quad (4)$$

$$M_c^-(u,u') = N_f^{(u)} \left[3N_c \left(N_c^2 + N_c N_f^{(u)} - 1 \right) N_f^{(u')} - N_c^2 {N_f^{(u)}}^2 + 1 \right]. \quad (5)$$

Avec $\mathbb{1}_{\alpha^{(u')} \geq 1}$ vaut 1 si $\alpha^{(u')} \geq 1$, zéro sinon et $\mathbb{1}_{\alpha^{(u')} < 1}$ vaut 1 si $\alpha^{(u')} < 1$, zéro sinon. De plus $N_f^{(u)} = \alpha^{(u')} N_f^{(u')}$, $\alpha^{(u')} > 0$ et $\alpha^{(u')} \in \mathbb{Q}$, i.e. l'ensemble des nombres rationnels. Enfin Λ est une constante dépendant des paramètres du canal, de la forme d'onde, du nombre de doigts du rake ainsi que du nombre de trajets. Son expression est disponible en [1, 5] et est omise ici par soucis de concision. Cette expression nous permet d'obtenir le RSIB de l'utilisateur u en présence des interférences des autres utilisateurs que l'on donne en (6) en haut de la page suivante. Dans cette expression, G_u est le gain de traitement du récepteur rake et V_n est le bruit après le récepteur [1, 5]. $I_+ = \left\{ u' \mid \alpha^{(u')} \geq 1, u' \neq u \right\}$ et $I_- = \left\{ v \mid \alpha^{(v)} < 1 \right\}$, tels que $I_+ \cup I_- = I$ et $I_+ \cap I_- = \emptyset$.

3 Allocation de ressource multi-débit

On suppose que l'utilisateur u peut atteindre son débit effectif sans erreur, i.e. $D_u = 1/\left(N_c N_f^{(u)} T_c\right)$, si son RSIB est supérieur à un seuil $\Gamma_{\min}^{(u)}$. L'intérêt de considérer des durées symboles différentes est de pouvoir augmenter le débit de certains utilisateurs en diminuant leurs durées symboles au prix bien sûr d'une diminution de leur RSIB (celui-ci varie en ${N_f^{(u)}}^2$ (6)). On peut montrer que la maximisation du débit global, $\max \sum_u D_u$, est équivalente à :

$$\begin{array}{ll} \min\limits_{\mathbf{N_f}} & \prod\limits_{u=1}^{N_u} N_f^{(u)}, \text{ s.c.} \\ (c_1) & \text{si } P_u > 0 \text{ alors } \frac{\Gamma_{\min}^{(u)}}{\mathrm{RSIB}_u\left(N_f^{(u)}\right)} \leq 1, \forall u \in I \\ (c_2) & N_f^{(u)} \geq 1, \forall u \in I \\ (c_3) & N_f^{(u)} \leq N_c, \forall u \in I \\ (c_4) & N_f^{(u)} \in \mathbb{N}, \forall u \in I \end{array} \quad (7)$$

où $\Gamma_{\min}^{(u)}$ traduit la contrainte QoS éventuellement hétérogène et I est l'ensemble des utilisateurs autorisés à transmettre. Le

$$\mathrm{RSIB}_u\left(N_f^{(u)}\right) = \frac{P_u G_u {N_f^{(u)}}^2}{\Lambda\left(\sum_{\substack{u'\in I_+\\ u'\neq u}} \frac{P_{u'}}{N_f^{(u')}} M_c^+(u,u') + \sum_{v\in I_-} \frac{P_v}{N_f^{(v)}} M_c^-(u,v)\right) + \frac{N_0 N_f^{(u)}}{2} V_n} \quad (6)$$

problème en (7) est la combinaison d'un problème de programmation signomiale, à cause de la présence de sommes de produits à coefficients positifs et négatifs dans (c_1), et de recherche combinatoire (contrainte (c_4)). Cette combinaison entraîne une complexité exponentielle sur la recherche optimale et ne peut donc raisonnablement être envisagée pour N_c et N_u grands. La contrainte (c_3) traduit le fait que le nombre de trames ne devrait pas être plus grand que le nombre de chips [1].

L'heuristique ARDA proposée ci-dessous alloue $N_f^{(u)}$ pour l'utilisateur le plus éloigné de la BS qui aura en moyenne le RSIB le plus défavorable. L'algorithme met à jour les valeurs de N_f pour chaque utilisateur dans un ordre décroissant de distance vers la BS. Pour chaque utilisateur, la valeur minimale de N_f satisfaisant la contrainte (c_1) est choisie, afin de maximiser le débit de l'utilisateur. (c_1) peut se réécrire de telle sorte que si $P_u > 0$ alors $F\left(N_f^{(u)}, N_f^{(u')}\right)_{u'\neq u} \geq 0, \forall u \in I$ [1]. Ainsi, le nombre de trames alloué à l'utilisateur u est la valeur $N_f^{(u)}$ minimale satisfaisant une inégalité cubique.

Algorithm 1: Allocation de ressource à débit adaptatif (ARDA)

Données: $N_u \geq 1, N_c > 1$
Résultat: $N_f^{(u)}$ pour tout u

$I = \{1, \cdots, N_u\}$, $\mathbf{N_f} = [1, \cdots, 1]$, $N_u^{'} \leftarrow N_u$, $i = 0$;
tant que *RSIB*$_u < \Gamma_{\min}^{(u)}\ \forall u \in I$ **faire**
  $u = N_u^{'}$, $i = i + 1$;
  tant que $u \geq 1$ **faire**
    $N_f^{(u)} \leftarrow$ résoudre $F\left(N_f^{(u)}, N_f^{(u')}\right)_{u'\neq u} \geq 0$;
    si $N_f^{(u)} > N_c$ *ou* $N_f^{(u)} < 1$ **alors**
      $N_u^{'} \leftarrow N_u^{'} - 1$ et retirer u de I;
      $u = N_u^{'}$ et $\forall u \in I, N_f^{(u)} = 1$;
    sinon
      $u = u - 1$;
  Mettre à jour $\mathrm{RSIB}_u\ \forall u \in I$;

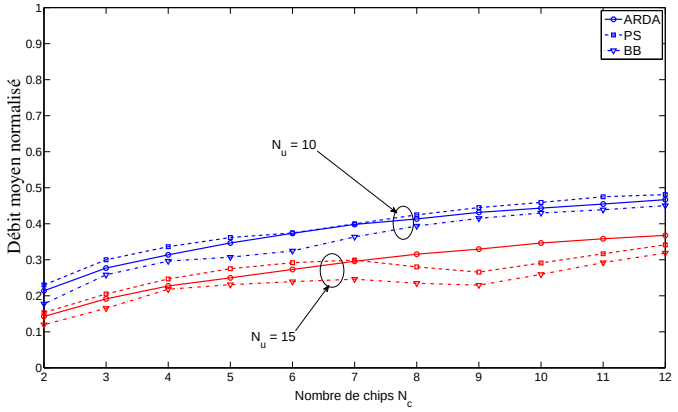
4 Résultats

Nous examinons les performances de l'algorithme proposé relativement à l'algorithme de programmation signomiale (PS) et le branch and bound (BB) dérivés en [5]. L'algorithme PS est dérivé en relâchant la contrainte entière sur la valeur du nombre de trames. Afin d'obtenir une solution réaliste, nous dérivons un deuxième algorithme basé sur la stratégie *branch and bound* et sur l'algorithme PS mais permettant d'obtenir une solution entière [5]. Pour des raisons de place, ces deux algorithmes ne sont pas détaillés ici. L'algorithme BB joue généralement le rôle d'étalon car optimal [7]. Notons cependant que la forme du RSIB en (6) fait intervenir des fonctions non-linéaires dans le problème d'optimisation. En effet, les contributions relatives de M_c^- et de M_c^+ dans le dénominateur du RSIB dépendent des valeurs relatives de $N_f^{(u)}$ entres elles. Autrement dit, à mesure que les valeurs de $N_f^{(u)}$ changent relativement les unes par rapport aux autres, le RSIB de chaque utilisateur peut avoir des valeurs très différentes d'une itération à l'autre. Ainsi un utilisateur peut satisfaire sa contrainte QoS à un moment donnée et la perdre à l'itération d'après.

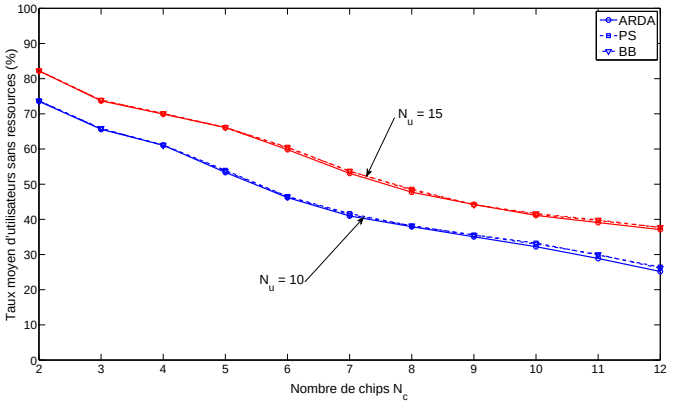
Sur les figures 1(a) et 1(b) nous comparons les performances de l'heuristique proposée avec celles des algorithmes PS et BB. Les performances sont évaluées en termes de débit moyen normalisé et de taux d'utilisateurs n'ayant pu être satisfaits. Le débit moyen normalisé est le rapport entre le débit global de la cellule (en Mbps) et le débit global atteignable sans aucune contrainte de RSIB, i.e. $N_f^{(u)} = 1 \forall u$. L'hétérogénéité de la QoS consiste à considérer trois classes d'utilisateurs chacune avec un RSIB minimal différent. Pour $N_u = 15$, les 5 premiers utilisateurs ont une contrainte $\Gamma_{\min}^{(u)} = 15$ dB, les 5 suivants $\Gamma_{\min}^{(u)} = 10$ dB et les 5 derniers $\Gamma_{\min}^{(u)} = 5$ dB. Pour $N_u = 10$, le nombre d'utilisateurs dans chaque classe est 3, 3, 4 respectivement. Les courbes sont tracées en fonction du nombre de chips dans une trame. On peut constater que l'algorithme 1 surpasse l'algorithme de référence BB dans le cas de contrainte QoS hétérogène. Cela peut sembler surprenant de prime abord, mais comme nous l'avons évoqué ci-dessus, la présence de fonctions hautement non linéaires dans le problème d'optimisation rend impossible l'accès à une solution optimale autrement que par une recherche exhaustive. Aussi, rien n'interdit qu'une bonne heuristique ne puisse faire mieux qu'un algorithme de référence comme le BB. Nous constatons également que la résolution du problème avec PS permet d'obtenir une borne supérieur des performances lorsque $N_u = 10$ (et $N_u = 15$ pour de faibles valeurs de N_c), puisque PS résout le problème dans $\mathbb{R}^{N_u}$. On peut également noter que pour $N_u = 15$, les algorithmes PS et BB subissent une baisse importante de leur débit pour des valeurs de N_c de l'ordre de 10. Cela s'explique par le fait que le nombre de trames allouées en moyenne avec ces deux algorithmes surpasse celui alloué par ARDA et provoque ainsi une baisse globale du débit [5]. Le taux d'utilisateurs sans ressources, Fig. 1(b), est le même pour PS, BB et ARDA ce qui fait de cette dernière une heuristique intéressante pour l'allocation de trames.

1. L'expression de $F(\cdot)$ est reportée en (8) en haut de la page suivante.

$$F\left(N_f^{(u)}, N_f^{(u')}\right)_{u'\neq u} = N_c^2 \Lambda \Gamma_{\min}^{(u)} \sum_{v\in I_-} \frac{P_v}{N_f^{(v)}} {N_f^{(u)}}^3 + \left(P_u G_u - 3N_c^2 \Lambda \Gamma_{\min}^{(u)} \sum_{v\in I_-} P_v\right) {N_f^{(u)}}^2 - \Gamma_{\min}^{(u)} \times \left\{ \Lambda \left[\sum_{v\in I_-} \left(3N_c^3 - 3N_c + \frac{1}{N_f^{(v)}}\right) P_v + 3N_c \sum_{\substack{u'\in I_+ \\ u'\neq u}} \left(N_c N_f^{(u')} + N_c^2 - 1\right) P_{u'} \right] + \frac{N_0 V_n}{2} \right\} N_f^{(u)} + \Lambda \Gamma_{\min}^{(u)} \sum_{\substack{u'\in I_+ \\ u'\neq u}} \left(N_c^2 {N_f^{(u')}}^2 - 1\right) P_{u'} \quad (8)$$



(a) Débit moyen normalisé



(b) Taux moyen d'utilisateurs sans ressources

FIGURE 1 – Débit normalisé Fig. 1(a) et taux moyen d'utilisateurs sans ressources Fig. 1(b) en fonction du nombre de chips dans une trame pour $N_u = 10$ et $N_u = 15$.

5 Conclusion

Dans cet article nous nous sommes intéressés à l'allocation de ressources dans un système ULB-CST avec la possibilité d'un débit adaptatif des utilisateurs en jouant sur leur nombre de trames. Nous avons dû proposer un nouveau modèle d'IAM puisque ceux disponibles dans la littérature ne prenaient pas en compte la possibilité d'une durée symbole variable d'un utilisateur à l'autre. La résolution du maximum de débit sur le nombre de trames est un problème non convexe et combinatoire qui ne pas être résolu de manière optimale simplement. Nous proposons un algorithme à complexité linéaire permettant d'allouer les trames aux utilisateurs de façon à juste satisfaire leur contrainte RSIB tout en leur donnant un débit maximal. La comparaison avec des algorithmes de références montre le très bon comportement de l'heuristique proposée tant en termes de débit que de satisfaction sur le nombre d'utilisateurs servis.

Références

[1] C. J. Le Martret, A.-L. Deleuze, and P. Ciblat, "Optimal Time-Hopping Codes for Multi-User Interference Mitigation in Ultra-Wide Bandwidth Impulse Radio," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 5, no. 6, pp. 1516 –1525, June 2006.

[2] B. Radunovic and J. Y. Le Boudec, "Optimal power control, scheduling, and routing in UWB networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 22, no. 7, pp. 1252–1270, Sep. 2004.

[3] H. Wymeersch, G. Zussman, and M. Z. Win, "SNR Analysis for MultiRate UWB-IR," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 11, pp. 49–51, 2007.

[4] P. Mary, I. Fijalkow, and C. Poulliat, "Adaptive Rate Allocation Scheme for Uplink TH-UWB Networks," in *IEEE Int. Conf. Commun. (ICC)*, June 2011.

[5] P. Mary, I. Fijalkow, and C. Poulliat, "Multi-Rate Resource Allocations for TH-UWB Wireless Communications," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 11, no. 12, pp. 4470–4481, Dec. 2012.

[6] F. Kharrat-Kammoun, C. J. Le Martret, and P. Ciblat, "Performance analysis of ir-uwb in a multi-user environment," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 8, no. 11, pp. 5552 –5563, nov. 2009.

[7] R. E. Moore, "Global optimization to prescribed accuracy," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 21, no. 6-7, pp. 25–39, 1991.