HAL open science

Optimisation des systèmes MIMO SS-MC-MA dans le contexte UWB

Antoine Stephan, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard

To cite this version:

Antoine Stephan, Jean-Yves Baudais, Jean-François Hélard. Optimisation des systèmes MIMO SS-MC-MA dans le contexte UWB. 21e Colloque GRETSI, Sep 2007, Troyes, France. pp.297-300. hal-00194981

HAL Id: hal-00194981

https://hal.science/hal-00194981v1

Submitted on 7 Dec 2007

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.

Optimisation des systèmes MIMO SS-MC-MA dans le contexte UWB

Antoine Stephan[1], Jean-Yves Baudais[1], Jean-François Hélard[1]

[1]Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes (IETR), INSA de Rennes
20 Av. des Buttes de Coësmes, 35043 Rennes, France
antoine.stephan@ens.insa-rennes.fr, {jean-yves.baudais, jean-francois.helard}@insa-rennes.fr

Résumé – Dans cet article, nous proposons une forme d'onde de type SS-MC-MA (*spread spectrum multi-carrier multiple-access*) basée sur la solution MBOA (*Multiband OFDM Alliance*) pour les applications UWB (*ultra-wideband*) haut débit, en considérant les contextes UWB européen et américain. Le système proposé est optimisé pour augmenter le débit, la marge ou la portée du système. De plus, une composante MIMO est ajoutée afin de bénéficier de la diversité spatiale. Nous montrons que le système MIMO SS-MC-MA adaptatif peut être avantageusement exploité pour les applications UWB haut débit.

Abstract – In this paper, we propose a SS-MC-MA waveform based on the MBOA solution for high data rate UWB applications, taking into account the American and the European UWB contexts. The proposed system is optimized to maximize the throughput, noise margin or range. Moreover, a MIMO scheme is added to benefit from the spatial diversity. We show that the adaptive MIMO SS-MC-MA system can be advantageously exploited for high rate UWB applications.

1. Introduction

L'ultra large bande ou UWB (*ultra-wideband*) est reconnue comme une technologie à fort potentiel pour les applications sans fil à très haut débit et à faible portée depuis que la FCC (*Federal Communications Commission*) a alloué un spectre de 3,1–10,6 GHz pour les applications UWB [1]. L'une des principales techniques considérées par le groupe de normalisation WPAN (*wireless personal area network*) IEEE 802.15.3a est la solution MB-OFDM (*multiband orthogonal frequency division multiplexing*) proposée par la MBOA (*Multiband OFDM Alliance*) [2].

Dans cet article, nous proposons d'ajouter une composante d'étalement à la solution MBOA. Le système « OFDM précodé » proposé, connu sous le sigle SS-MC-MA (*spread spectrum multi-carrier multiple-access*), respecte les paramètres OFDM de la solution MBOA pour ne pas augmenter considérablement la complexité du système. Le système est optimisé en considérant le cas de constellations fixes ou variables. Des algorithmes d'allocation dynamique des ressources sont proposés dans le but de maximiser le débit, la marge ou la portée du système, sous une contrainte de DSP. D'autre part, nous ajoutons une composante MIMO (*multiple input multiple output*) afin de bénéficier de la diversité spatiale.

Les simulations sont réalisées dans les contextes UWB européen et américain. Les résultats de simulation montrent que notre système adaptatif transmet des données à des niveaux d'atténuation beaucoup plus élevés que ceux de la solution MBOA.

2. Système proposé

La solution MBOA est basée sur une modulation OFDM et une technique multibande qui divise le spectre UWB en 14 sous-bandes de 528 MHz chacune (figure 1). La plupart des études ont été réalisées sur les 3 premières sous-bandes de la solution MBOA. Le système OFDM est composé de 100 sous-porteuses de données et la constellation utilisée est la MAQ-4 (modulation d'amplitude en quadrature), ce qui conduit à une transmission de 200 bits par symbole OFDM. En 2002, la FCC a imposé une limite de DSP de -41,3 dBm/MHz sur toutes les sous-bandes, alors que la ECC (*European Electronics Communications Committee*) a imposé une limite de DSP beaucoup plus sévère sauf sur la bande de 6 à 8,5 GHz comme présenté dans la figure 2 [3].

Afin d'améliorer les performances du système, nous proposons une forme d'onde de type SS-MC-MA en appliquant une fonction d'étalement [4]. La solution SS-MC-MA, lorsqu'elle permet l'accès multiple entre les utilisateurs, consiste à attribuer à chaque utilisateur un bloc de sous-porteuses qui lui est propre, en respectant un schéma de multiplexage fréquentiel FDMA (*frequency division multiple-access*). L'étalement est choisi selon l'axe fréquentiel afin d'améliorer la robustesse du signal vis-à-vis de la sélectivité fréquentielle des canaux UWB et des brouilleurs à bande étroite.

La forme d'onde SS-MC-MA est utilisée dans le contexte UWB en allouant à chaque utilisateur un groupe de 100 sous-porteuses utiles, équivalent à l'une des 14

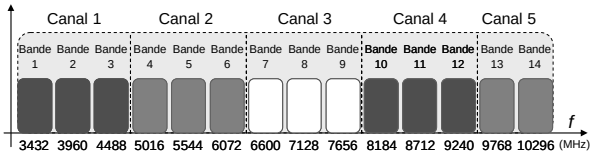

FIG. 1 : Répartition des sous-bandes de la solution MBOA.

sous-bandes de 528 MHz. Chaque sous-bande propre à un utilisateur est ensuite divisée en différents blocs contenant un nombre de sous-porteuses égal à la longueur du code d'étalement. De plus, comme dans la solution MBOA, la gestion multi-utilisateur est facilitée par l'utilisation de codes temps-fréquence (TFC) qui assurent des sauts en fréquence d'une sous-bande à une autre et d'un symbole OFDM à un autre.

Le modèle de canal utilisé est celui adopté par la commission IEEE 802.15.3a, qui est une version modifiée du modèle de Saleh-Valenzuela pour les applications indoor [5].

3. Optimisation du système

Dans cette section, nous optimisons le système SS-MC-MA afin d'améliorer les performances en terme de portée ou de débit, et de bénéficier de l'ajout de la composante d'étalement. Pour mieux se concentrer sur l'étude de l'étalement, seules les fonctions de précodage et OFDM sont considérées. Les autres fonctions de la chaîne globale de transmission, comme le codage de canal, ne sont pas prises en compte. Afin d'optimiser analytiquement le système SS-MC-MA, une détection ZF (*zero-forcing*) est utilisée.

Le débit total en bit par symbole d'un système SS-MC-MA utilisant une détection ZF est donné par [6]

$$R_{SS-MC-MA} = \sum_{b=1}^{B}\sum_{c=1}^{C_b}\log_2\left(1+\frac{1}{\Gamma}\frac{L^2}{\sum_{i=1}^{L}\left(1/|h_{i,b}|^2\right)}\frac{E_{c,b}}{N_0}\right), \quad (1)$$

avec B et L le nombre et la longueur des blocs, C_b le nombre de codes d'étalement dans le bloc b, Γ la marge de bruit des constellations MAQ, $E_{c,b}$ l'énergie allouée au code c du bloc b, avec la contrainte de DSP

$$\sum_c E_{c,b} \le E, \quad \forall b .$$

En utilisant les multiplieurs de Lagrange dans l'équation (1), la maximisation du débit réel du système conduit à

$$E_{c,b} = E / C_b \quad \text{et} \quad C_b = L \quad \forall b . \quad (2)$$

Par suite, le débit réel optimal par bloc b s'écrit

$$R_b = L\log_2\left(1+\frac{L}{\sum_{i=1}^{L}\frac{1}{|h_{i,b}|^2}}\frac{E}{\Gamma N_0}\right). \quad (3)$$

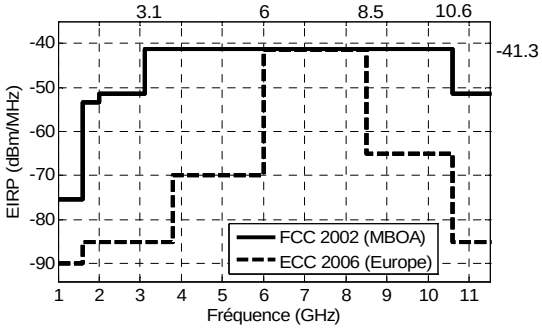

FIG. 2 : Masques de DSP.

Le système est ensuite optimisé en considérant 2 cas : le cas où l'on se limite à une MAQ-4 fixe pour rester dans le cadre de la norme MBOA, et le cas où l'on considère un ordre de constellation variable.

3.1 Constellation fixe MAQ-4

Dans cette étude, nous considérons uniquement la MAQ-4 (MBOA) et un nombre N de sous-porteuses utiles par sous-bande. Nous cherchons le nombre optimal B de blocs, et par suite la longueur optimale L des codes d'étalement, qui maximise la marge de bruit, et par conséquence la portée du système SS-MC-MA, en considérant un débit cible de $2N$ bits par symbole OFDM.

Soit γ_b la marge du système par bloc dont on veut maximiser la valeur minimale. A partir de l'équation (3) on peut écrire [7]

$$R_{UWB} = 2N = \sum_{b=1}^{B} L\log_2\left(1+\frac{1}{\gamma_b}\frac{L}{\sum_{i=1}^{L}\left(1/|h_{i,b}|^2\right)}\frac{E}{\Gamma N_0}\right) \quad (4)$$

et

$$\gamma_b = \frac{1}{3}\frac{L}{\sum_{i=1}^{L}\left(1/|h_{i,b}|^2\right)}\frac{E}{\Gamma N_0} \quad \forall b . \quad (5)$$

Soient α et α_b telles que

$$\sum_{i=1}^{L}\frac{1}{|h_{i,b}|^2}\frac{E}{\Gamma N_0} = \frac{L}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{|h_i|^2}\frac{E}{\Gamma N_0} + \alpha_b = \frac{L}{N}\alpha + \alpha_b .$$

Ainsi

$$\gamma_b = \frac{1}{3}\frac{L}{\frac{L}{N}\alpha + \alpha_b} .$$

On a

$$\alpha = \sum_{b=1}^{B}\sum_{i=1}^{L}\frac{1}{|h_{i,b}|^2}\frac{E}{\Gamma N_0} = \sum_{b=1}^{B}\left(\frac{L}{N}\alpha + \alpha_b\right) = \alpha + \sum_{b=1}^{B}\alpha_b ,$$

D'où

$$\sum_{b=1}^{B}\alpha_b = 0 .$$

Par suite, pour maximiser la marge de bruit ou la portée du système SS-MC-MA, un seul bloc SS-MC-MA doit être

utilisé, et par suite la longueur des codes doit être égale au nombre de sous-porteuses utiles.

L'avantage de cette solution est qu'il n'est pas nécessaire de connaître les coefficients du canal à l'émission pour répartir les sous-porteuses entre les blocs, puisqu'elles sont toutes utilisées dans un seul bloc. De plus, ce résultat montre que la marge de bruit du système SS-MC-MA ne peut jamais être inférieure à celle du système OFDM.

3.2 Constellations variables

Dans cette étude, nous considérons des constellations variables de type MAQ-4, MAQ-8 et MAQ-16, afin de mieux bénéficier de la capacité du canal. La réponse du canal UWB variant lentement dans le temps, nous pouvons considérer une connaissance du canal à l'émission.

En considérant un contexte multi-bloc, le débit réel maximal en bit par code *c* est donné par

$$R_{c,b} = R_b / L \qquad \forall c \in [1, L], \tag{6}$$

avec R_b le débit réel optimal par bloc *b* donné par l'équation (3).

Comme nous travaillons avec des ordres de constellation discrets, le débit par code doit avoir des valeurs entières. Une solution optimale décrite dans [6] montre qu'il faut allouer $\lfloor R_b / L \rfloor + 1$ bits à *n* codes et $\lfloor R_b / L \rfloor$ bits aux $L - n$ codes restants avec *n* un nombre entier donné par

$$n = \left\lfloor L\left(2^{R_b / L - \lfloor R_b / L \rfloor} - 1\right) \right\rfloor. \tag{7}$$

Par suite, les valeurs discrètes du débit en bit par code deviennent

$$\begin{cases} \overline{R}_{c,b} = \lfloor R_b / L \rfloor + 1 & \forall c \in [1, n] \\ \overline{R}_{c,b} = \lfloor R_b / L \rfloor & \forall c \in [n+1, L]. \end{cases} \tag{8}$$

Ainsi, l'énergie par code *c* sera donnée par

$$\overline{E}_{c,b} = \frac{\Gamma}{L^2} \sum_{i=1}^{L} \frac{N_0}{|h_{i,b}|^2} \left(2^{\overline{R}_{c,b}} - 1\right), \tag{9}$$

et le débit total discret par bloc devient

$$\overline{R}_b = \left\lfloor L(2^{R_b / L - \lfloor R_b / L \rfloor} - 1) \right\rfloor + L \lfloor R_b / L \rfloor. \tag{10}$$

L'algorithme d'optimisation proposé augmente considérablement le débit du système SS-MC-MA utilisant des constellations variables. Par conséquence, la portée du système SS-MC-MA adaptatif est aussi améliorée par rapport à celle du système MBOA.

4. Ajout d'une composante MIMO

Nous ajoutons une composante MIMO au système SS-MC-MA afin de bénéficier de la diversité spatiale et d'améliorer les performances du système. Nous étudions le cas du gain en diversité, en considérant un système Alamouti-SS-MC-MA avec 2 antennes à l'émission et 2 antennes à la réception.

Le débit maximal par symbole OFDM d'un système Alamouti-OFDM est dérivé à partir des résultats obtenus dans [6] et [8]

$$R = \sum_{n=1}^{N} \left(\lfloor R_n \rfloor + \frac{1}{2} \left\lfloor 2\left(2^{R_n - \lfloor R_n \rfloor} - 1\right) \right\rfloor \right), \tag{11}$$

avec
$$R_n = \log_2 \left(1 + \frac{1}{2\Gamma} \sum_{m=1}^{4} |h_{n,m}|^2 \frac{E}{N_0} \right). \tag{12}$$

De même, le débit maximal d'un système Alamouti-SS-MC-MA est donné par

$$R = \frac{1}{2} \sum_{b=1}^{B} L \lfloor R_b / L \rfloor + \frac{1}{2} \sum_{b=1}^{B} \left\lfloor L\left(2^{R_b / L - \lfloor R_b / L \rfloor} - 1\right) \right\rfloor, \tag{13}$$

avec
$$R_b = L \log_2 \left(1 + \frac{1}{\Gamma} \frac{L}{\sum_{i_b=1}^{L/2} \left(4 / \sum_{m=1}^{4} |h_{i_b,m}|^2 \right)} \frac{E}{N_0} \right). \tag{14}$$

Alors que le débit Alamouti-OFDM est supérieur au débit Alamouti-SS-MC-MA dans $\mathbb{R}$, ce débit Alamouti-OFDM est amélioré dans $\mathbb{N}$ en ajoutant la composante d'étalement.

5. Résultats de simulation

Les simulations sont réalisées sur les sous-bandes 1, 2 et 3 (contexte américain ; 3,16–4,75 GHz), et sur les sous-bandes 7, 8 et 9 (contexte européen ; 6,33–7,92 GHz) de la solution MBOA.

La figure 3 représente le débit total d'un système à trois utilisateurs transmettant sur trois symboles OFDM consécutifs. Un saut de fréquence (TFC) identique à celui proposé par la solution MBOA portant sur un horizon de trois symboles OFDM est considéré. Le débit cible est de 200 bits par symbole OFDM et par utilisateur. Si ce débit cible n'est pas atteignable, alors l'utilisateur considéré ne peut pas transmettre d'information. Avec le système MBOA, les trois utilisateurs transmettent des données ($3 \times 3 \times 200 = 1800$ bit/3×symbole) pour des atténuations inférieures à 34 dB, et aucun utilisateur ne peut transmettre au-delà de 47 dB. Avec le système SS-MC-MA utilisant une longueur de codes d'étalement $L = 16$, les trois utilisateurs transmettent des données jusqu'à des atténuations de 44 dB. En utilisant la longueur optimale $L = 100$ (un seul bloc), les trois utilisateurs peuvent transmettre jusqu'à des atténuations de 50 dB, et un seul peut transmettre jusqu'à 62 dB. Nous obtenons ainsi un gain de 15 dB par rapport à la solution MBOA.

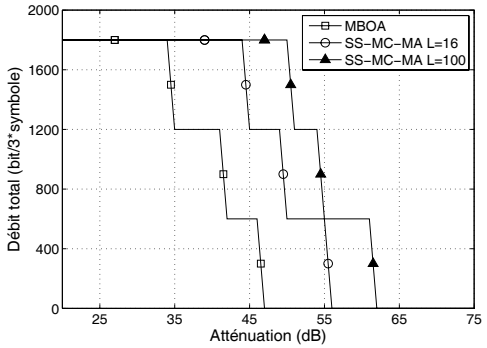

FIG. 3 : Débit total d'un système SISO non adaptatif à trois utilisateurs (contexte européen).

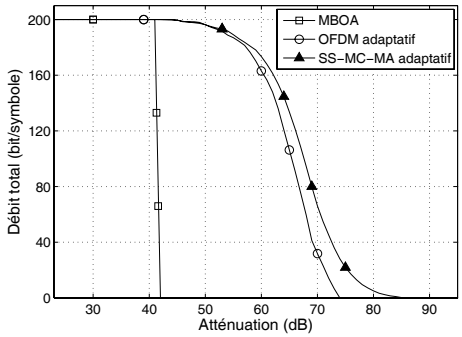

FIG. 4 : Débit d'un système SISO mono-utilisateur adaptatif (contexte européen).

La figure 4 représente le débit des systèmes OFDM et SS-MC-MA mono-utilisateur utilisant l'algorithme d'allocation dynamique toujours avec une MAQ-4, et en autorisant des débits inférieurs au débit cible de 200 bits par symbole. Avec le système OFDM adaptatif, un utilisateur peut transmettre pour des atténuations inférieures à 74 dB, alors qu'avec le système MBOA il ne peut pas transmettre aux atténuations supérieures à 41 dB. De plus, lorsque l'algorithme est appliqué au système SS-MC-MA utilisant une longueur de code d'étalement $L = 16$ qui est la longueur optimale dans le cas de constellations variables, l'utilisateur peut transmettre à un niveau d'atténuation de 86 dB, d'où un gain de 12 dB par rapport au système OFDM adaptatif.

La figure 5 représente les débits des systèmes OFDM et SS-MC-MA adaptatifs, avec des constellations allant jusqu'à la MAQ-16. Le canal MIMO considéré est constitué de 4 canaux SISO (*single input single output*) décorrélés. L'ajout de la dimension spatiale permet d'augmenter les débits ou la portée des systèmes avec ou sans étalement. On remarque que le débit Alamouti-SS-MC-MA est toujours supérieur au débit Alamouti-OFDM, en particulier pour les atténuations élevées où le gain en portée atteint 10 dB. A noter que dans le cas de canaux corrélés, le système SS-MC-MA reste toujours meilleur que le système OFDM et les performances se situent entre celles obtenues en SISO et en MIMO à canaux décorrélés.

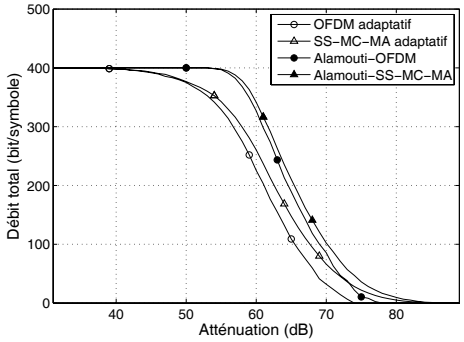

FIG. 5 : Débits des systèmes SISO et MIMO adaptatifs (contexte américain).

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un système MIMO SS-MC-MA pour les applications UWB et nous avons optimisé le système afin de maximiser le débit ou la marge de bruit. Nous montrons que les performances du système Alamouti-SS-MC-MA sont meilleures que celle du système Alamouti-OFDM. Ainsi, le système proposé est pertinent pour les applications UWB haut débit à fortes atténuations.

Références

[1] "First report and order, revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission systems," FCC, ET Docket 98-153, 14 février 2002.

[2] IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs), « Multi-band OFDM physical layer proposal for IEEE 802.15 task group 3a ». Septembre 2004.

[3] « ECC Decision of 24 March 2006 on the harmonised conditions for devices using Ultra-Wideband (UWB) technology in bands below 10.6 GHz ». ECC/DEC(06)04, mars 2006.

[4] S. Kaiser et K. Fazel, « A flexible spread-spectrum multi-carrier multiple-access system for multi-media applications ». *Proc. IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC'97)*, pages 100–104, Helsinki, Finlande, septembre 1997.

[5] J. Foerster *et al.*, « Channel modeling sub-committee report final ». IEEE802.15-02/490, novembre 2003.

[6] M. Crussière, J-Y. Baudais and J-F. Hélard, « Adaptive spread spectrum multicarrier multiple access over wirelines ». *IEEE J. on Selected Areas in Commun., Special Issue on Power Line Commun.*, vol. 24, n° 7, pages 1377–1388, juillet 2006.

[7] A. Stephan, J-Y. Baudais et J-F. Hélard, « Adaptive multi-carrier spread-spectrum with dynamic time-frequency codes for UWB applications ». *Proc. IEEE Workshop on Multi-Carrier Spread Spectrum (MC-mSS'07)*, pages 197–206, Allemagne, mai 2007.

[8] J-Y. Baudais, « Stratégie d'allocation de l'informa-tion et systèmes à porteuses multiples dans un contexte MIMO ». Accepté pour publication au *XXIe Colloque GRETSI*, Troyes, France, 2007.