

Nouvelle approche pour optimiser un décodeur itératif

Chemsa Ali ⁽¹⁾, Saigaa Djamel ⁽²⁾, Taleb-Ahmed Abdelmalik ⁽³⁾

⁽¹⁾⁽³⁾ LAMIH UMR CNRS 8201, UVHC

Le Mont Houy 59313 Valenciennes Cedex 9 France

⁽²⁾ Département d'électronique

Université de M'Sila, Algérie

⁽¹⁾ chemsadoct@yahoo.fr, ⁽²⁾ saigaa_dj@yahoo.fr, ⁽³⁾ taleb@univ-valenciennes.fr

Résumé

Un turbo code possède des performances proches des limites de Shannon, car un tel code permet d'atteindre des meilleures performances si on augmente le nombre d'itérations, et ceci grâce à son décodeur itératif à Maximum de Vraisemblance (ML) et à sortie souple. Cependant, pour les faibles rapports signal sur bruit (SNR), le décodeur itératif ne donne pas de performances acceptables même si on augmente le nombre d'itérations et surtout avec l'algorithme de décodage de Viterbi à sortie souple (SOVA). Pour optimiser un tel décodeur nous proposons une nouvelle approche qui consiste d'ajouter une fonction porte à l'entrée systématique du décodeur, afin de rendre les informations extrinsèques délivrées par les décodeurs constitutifs plus fiables, ce qui permet ainsi d'améliorer le pouvoir de correction des erreurs. Nous montrons à l'aide de différents exemples que les performances du décodeur proposé sont meilleures que celles du décodeur classique en utilisant l'algorithme SOVA ou l'algorithme de maximum a posteriori (MAP) quelque soit le SNR.

Mots clefs

Code systématique récursif RSC, Décodeur itératif classique CID, Décodeur itératif modifié MID, Algorithme SOVA, Algorithme MAP, Taux d'erreurs binaire BER, Bruit blanc gaussien additif AWGN, Modulation binaire à déplacement de phase BPSK, Rapport signal sur bruit SNR.

1 Introduction

Les turbo codes, inventés par C. Berrou [1], sont des codes convolutifs, généralement systématiques et récursifs (Recursive Systematic Convolutional RSC), à concaténation parallèle, et à décodage itératif. Ce procédé de décodage a permis d'améliorer considérablement les performances du système de transmission. Cependant, pour un faible rapport signal sur bruit (Signal to Noise Ratio SNR) on ne gagne pas grande chose en termes du taux d'erreurs binaire (Binary Error Rate BER) même si on augmente le nombre d'itérations du décodeur itératif.

Les travaux [2, 3, 4] dans le cas d'une modulation binaire par déplacement de phase (Binary Phase Shift Keying BPSK), ont permis de mettre en évidence cet inconvénient.

C'est pour cette raison il y a beaucoup des travaux qui traitent le problème d'optimisation des décodeurs itératifs, ou décodeurs turbo proprement dit, dans les zones : de faibles SNR et de faibles BER. Par exemple, en augmentant la distance libre minimale du codeur, soit par poinçonnage de la partie systématique du turbo code [5], ou soit par un choix adéquat de l'entrelaceur [6].

Dans [7], les auteurs utilisent, pour optimiser un décodeur itératif, la théorie du chaos et la théorie de la bifurcation pour analyser l'influence réciproque des processus itératifs et réduire la sous-optimalité d'un processus itératif. Il ressort de cette étude que corriger l'information extrinsèque avec des fonctions f correctement choisies

(par exemple, $f(x) = ax e^{-b|x|}$ avec $a \in [0.8, 1]$ et $b \in [10^{-3}, 10^{-2}]$) permet une amélioration des performances de décodage. Dans la pratique, des corrections linéaires sont préférables car moins complexe à mettre en œuvre. Pour cette raison les auteurs dans [8] et [9] ont multiplié l'information extrinsèque par un facteur bien choisi. Il est également possible de faire varier ce facteur au cours des itérations [10].

Dans la plupart des travaux d'optimisation, les décodeurs itératifs sont basés sur la modification des informations extrinsèques des décodeurs élémentaires selon une méthode bien déterminée, c'est pourquoi nous proposons dans notre travail, pour optimiser un décodeur itératif et le rendre plus efficace surtout pour les faibles SNR et dans la zone des faibles BER, une approche originale qui consiste à multiplier la partie systématique du signal reçu au niveau du décodeur par une fonction porte $p(i)$, qui ne peut prendre que deux valeurs 0 ou 1 en fonction de l'itération i . La simulation montre que la fonction $p(i)$ joue un rôle important sur les performances du décodeur itératif, alors le choix de cette fonction binaire doit être fait d'une façon judicieux dans le but d'avoir des

- travail, $p(i \leq 7)$ ne dépend pas de la taille de l'entrelaceur S – aléatoire ;
- la fonction $p(i)$ ($i > 6$ pour le SOVA et $i > 7$ pour le MAP) dépend évidemment de la taille de l'entrelaceur S – aléatoire et de l'algorithme de décodage utilisé ;
 - tous les MID étudiés travaillent comme suit :
 - la présence de l'entrée systématique \vec{Z}^i est obligatoire dans la 1^{ère} et la 4^{ème} itérations ;
 - dans la 2^{ème}, la 3^{ème} et la 6^{ème} itérations les MID relâchent l'entrée systématique \vec{Z}^i ;
 - dans la 5^{ème} itération les MID avec l'algorithme SOVA nécessite la présence de l'entrée systématique \vec{Z}^i , contrairement aux MID avec l'algorithme MAP ;
 - dans la fonction $p(i)$ et pour $N=12$ itérations on a la propriété suivante : le nombre des « zéros » est égal à celui des « un », sauf la fonction $p(i)$ dans la dernière ligne du Tableau 1 où il y a 5 « un » et 7 « zéros ». Néanmoins, on a constaté que pour une grande valeur de N on retrouve que cette propriété est vérifiée.

Les figures 4.a et 4.b montrent le BER en fonction du SNR des MID et CID à 8 états et entrelaceur 15 – aléatoire de taille 64×64 pour les deux algorithmes de décodage SOVA et MAP pour 6 itérations (Figure 4.a) et 12 itérations (Figure 4.b).

Les figures 5.a et 5.b montrent le BER en fonction du SNR des MID et CID à 8 états et entrelaceur 15 – aléatoire de taille 128×128 pour les deux algorithmes de décodage SOVA et MAP pour 6 itérations (Figure 5.a) et 12 itérations (Figure 5.b)

L'analyse des Figures 4 et 5 permet de constater que :

- l'algorithme MAP est plus performant que l'algorithme SOVA en termes de BER et en termes de rapidité de convergence car l'algorithme MAP est considéré comme étant l'algorithme optimal pour le décodage des turbo codes convolutifs basés sur les codes RSC, contrairement à l'algorithme SOVA qui est sous optimal [10, 12] ;
- le BER d'un décodeur itératif est inversement proportionnelle au SNR , ce qui confirme davantage la théorie, puisque pour un grand SNR , la séquence émise n'est affectée que peu par le bruit. Donc, le décodeur de vraisemblance maximale aura à son entrée une séquence avec un nombre faible de bits erronés, d'où une probabilité faible, et vice versa ;
- la rapidité de convergence du décodeur itératif augmente avec le SNR .

La comparaison des Figures 4.a et 5.a avec les Figures 4.b et 5.b respectivement, permet de conclure que l'augmentation du nombre d'itérations améliore amplement les performances du décodeur itératif, ce qui

prouve le pouvoir correctif d'un tel décodeur, mais au détriment du temps de décodage qui devient plus grand.

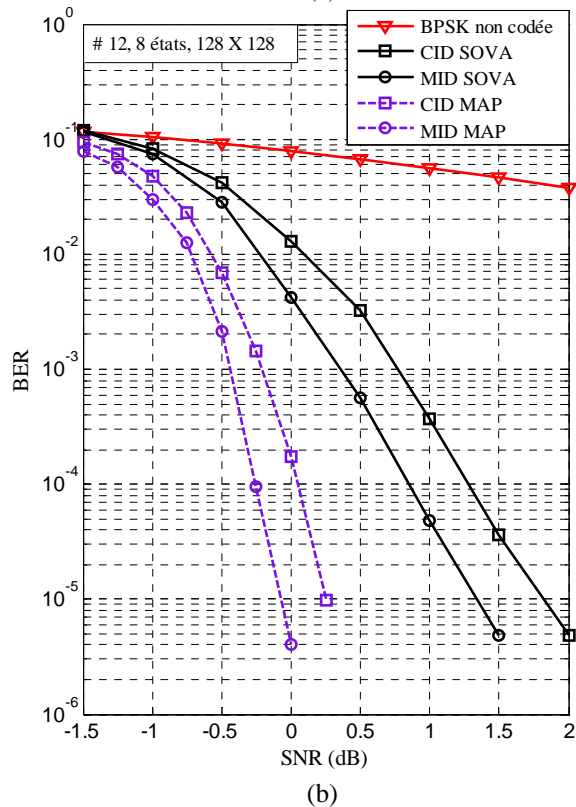
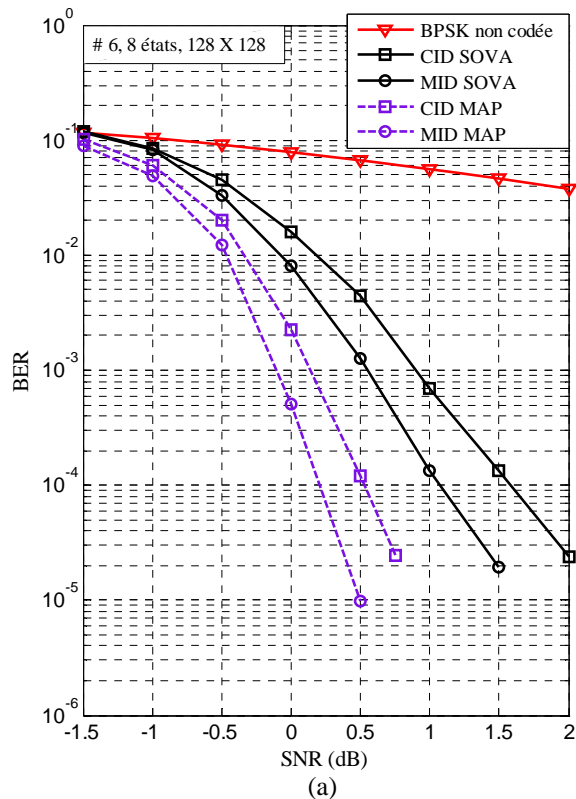


Figure 5 - Le BER en fonction du SNR des MID et CID à 8 états et entrelaceur 15 – aléatoire de taille 128×128 pour les deux algorithmes SOVA et MAP : (a) 6 itérations (b) 12 itérations

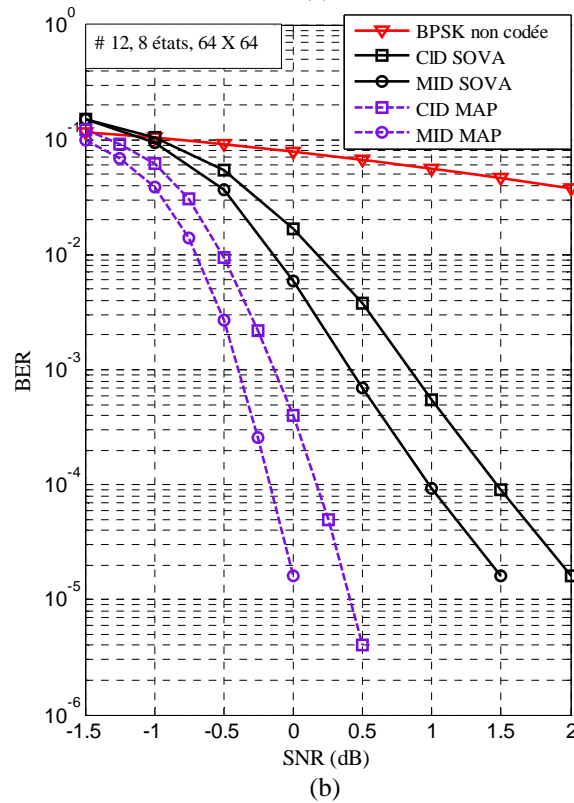
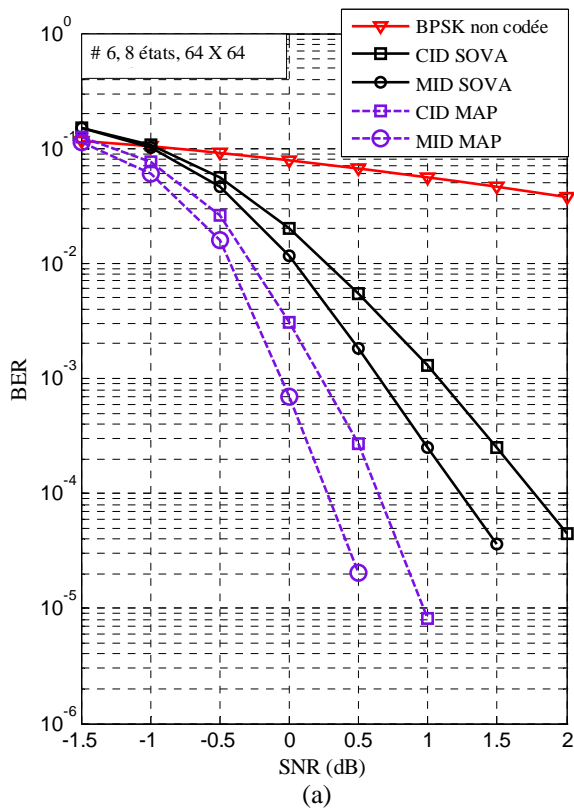


Figure 4 - Le BER en fonction du SNR des MID et CID à 8 états et entrelaceur 15 – aléatoire de taille 64×64 pour les deux algorithmes SOVA et MAP : (a) 6 itérations (b) 12 itérations

La comparaison des Figures 4.a et 4.b avec les Figures 5.a et 5.b respectivement, permet de conclure que l'augmentation de la taille de l'entrelaceur perfectionne les performances du décodeur itératif, mais il nécessite plus de ressources et de temps de calcul et induit un retard plus important. Il est important de signaler que les performances du décodeur itératif sont étroitement liées à la taille et à la nature de l'entrelaceur [3].

La comparaison des Figures 4.a et 5.a avec les Figures 4.b et 5.b respectivement, permet de conclure que dans la zone des faibles SNR, l'augmentation du nombre d'itérations n'améliore pas les performances du CID surtout avec l'algorithme SOVA, contrairement au cas du MID où l'augmentation du nombre d'itérations améliore avec une façon remarquable les performances du décodeur même avec l'algorithme SOVA. Le Tableau 2 montre un exemple numérique tiré des Figures 4.a et 4.b qui confirme ce résultat.

L'analyse des Figures 4 et 5 permet de constater que :

- l'algorithme MAP est plus performant que l'algorithme SOVA en termes de BER et en termes de rapidité de convergence car l'algorithme MAP est considéré comme étant l'algorithme optimal pour le décodage des turbo codes convolutifs basés sur les codes RSC, contrairement à l'algorithme SOVA qui est sous optimal [10, 12] ;

		SOVA (SNR = 0 dB)	MAP (SNR = -0.5 dB)
CID	# 6	$BER \cong 2 \times 10^{-2}$	$BER \cong 3 \times 10^{-2}$
	# 12	$BER \cong 2 \times 10^{-2}$	$BER \cong 10^{-2}$
MID	# 6	$BER \cong 10^{-2}$	$BER \cong 2 \times 10^{-2}$
	# 12	$BER \cong 6 \times 10^{-3}$	$BER \cong 3 \times 10^{-3}$

Tableau 2 - Comparaison MID/CID dans la zone des faibles SNR en fonction du nombre d'itérations

Les Figures 4 et 5 montrent que :

- le MID est plus performant que le CID quelque soit le SNR, et ceci pour les deux algorithmes SOVA et MAP, et que son pouvoir correctif des erreurs augmente par rapport à celui du CID si on augmente le nombre d'itérations ou le SNR ;
- le CID avec l'algorithme MAP est toujours plus performant que le MID avec l'algorithme SOVA ;
- malgré que notre approche est faite au début pour améliorer le décodeur itératif dans la zone des faibles SNR mais la simulation montre que cette approche est très avantageux dans la zone de faibles BER, car la Figure 4.b, par exemple, montre que pour un $BER = 10^{-5}$ nous avons gagné en termes de SNR pour

le MID par rapport au CID avec le SOVA 0.5 dB et avec le MAP 0.37 dB et la Figure 5.b montre aussi que pour un $BER = 10^{-5}$ nous avons gagné en termes de SNR pour le MID par rapport au CID avec le SOVA 0.42 dB et avec le MAP 0.32 dB. Donc, on peut conclure que notre approche améliore le décodeur itératif d'au moins de 0.32 dB en termes de SNR.

4 Conclusion et perspective

Dans ce travail nous avons présenté une technique originale qui permet d'optimiser un décodeur itératif en termes de taux d'erreurs binaire, donc d'améliorer le pouvoir de correction d'erreurs de transmission par rapport à un décodeur itératif classique. Cette technique est basée sur l'amélioration des informations extrinsèques qui sont fournies lors de chaque itération par les décodeurs élémentaires du décodeur itératif. Cette amélioration vient de la multiplication de la partie systématique du signal reçu par une fonction porte variable en fonction de l'itération.

Cette nouvelle technique est testée pour les deux algorithmes de décodage SOVA et MAP, et nous avons vu que le décodeur itératif modifié avec MAP est le plus performant en termes de pouvoir de correction des erreurs. Notre technique peut être appliquée, par exemple, dans la transmission d'images compressées à faible rapport signal sur bruit basée sur les turbo codes [13] ou dans la communication téléphonique mobile de troisième génération (3G Mobile) (UMTS, CDMA 2000) qui utilise un turbo code convolutif à 8 états [14].

Dans [15] les auteurs ont proposé, pour un décodeur itératif m -binaire ($m=2$), une nouvelle technique qui permet de réduire le nombre des informations extrinsèques changées, entre les décodeurs élémentaires, de $2^m - 1$ à m ce qui permet de réduire la taille de la mémoire du décodeur double binaire de 20%. Avec une telle technique on propose dans nos travaux futurs de généraliser notre solution aux turbo codes double-binaire qui sont utilisés dans le standard WiMAX.

Références

- [1] Claude Berrou and Alain Glavieux and Punya Thitimajshima. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : turbo codes. in *Proc. of ICC '93*, Geneva, p-p 1064-1070, May 1993.
- [2] Claude Berrou and Alain Glavieux. Near optimum error correcting coding and decoding : turbo codes, *IEEE Trans. Com*, Vol. 44, N° 10, p-p 1261-1271, 1996.
- [3] Henk Wymeersch. *Iterative Receiver Design*. Cambridge University Press, New York, 2007.
- [4] Christian Schlegel and Lance Pérez. *Trellis and Turbo Coding*. John Wiley & Sons, 2004.
- [5] Slim Chaoui et Haythem Ben Cheikha. Etude et résultats du comportement de convergence des codes turbo systématiques et partiellement systématiques. *4th International Conference SETIT*, Tunisie 2007.
- [6] Zhang and Yun Shi and Hangjun Chen and Alexander Haimovich and Anthony Vetro and Huifang Sun. Successive packing based interleaver design for turbo codes. in *Circuits and Systems, 2002. ISCAS 2002. IEEE International Symposium*. Vol N° 1, pages 17-20, 2002.
- [7] Ljupco Kocarev and Frederic Lehmann and Gian Mario Maggio and Bartolo Scanavino and Tasev Zarko and Alexander Vardy. Non linear dynamics of iterative decoding systems : analysis and applications. *Information Theory, IEEE Transactions on*, Vol. 52, N°. 4, pages 1366-1384, 2006.
- [8] Jörg Vogt and Adolf Finger. Improving the max-log-map turbo decoder. *Electronics Letters*, Vol. 36, N°. 23, pages 1937-1939, 2000.
- [9] Youssouf Ould-Cheikh-Mouhamedou and Paul Guinand and Peter Kabal. Enhanced max-log-app and Enhanced log-app decoding for dvb-rcs. in *3rd International Symposium on Turbo codes*, 2003.
- [10] Claude Berrou. *Codes and Turbo Codes*. IRIS Collection, Springer-Verlag, France, Paris, 2010.
- [11] Vahid Tabataba Vakili and Dariush Abbasi Moghaddam and Kiyam Keyghobad. Secure Turbo Codes in Impulsive Noise Channel. *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services, TELSIKS, 8th International Conference on 26-28 Sept 2007*, Serbia, pages 135-138.
- [12] Mohamed El-Tolba. Transmission de données pour le HSDPA et étude des algorithmes HARQ. Thèse de doctorat, 2006, ENST de Bretagne, France.
- [13] Surendra Kumar and Ranjith Kumar and Krishna Chaitanya. Compressed Image Transmission at Low Signal to Noise Ratio for Turbo Code Application. *International Journal of Electronics & Communication Technology IJECT*, Vol. 2, SP-1, pages 213-217, December 2011.
- [14] Marie-Helene Hamon and Olivier Seller and John Benko and Claude Berrou and Jacky Tusch and Brian Edmonston. Partial Proposal : Turbo Codes. *IEEE 802.11-04/903-01-0000n*. 2004.
- [15] Ji-Hoon Kim and In-Cheol Park. Bit-Level Extrinsic Information Exchange Method for Double-Binary Turbo Codes. *IEEE Transactions on Circuits and Systems-II : Express Briefs*, Vol. 56, N°. 1, pages 81-85, January 2009.