APPLICATION DES TURBOCODES DANS UN SYSTÈME MULTI USAGERS WCDMA

MOUNIRA HENDAOUI[1] & ABDELHAMID BENAKCHA[2]

[1] Département de génie électrique, Faculté des Sciences et de la Technologie
[2] Université Mohamed Khider – Biskra-.
nourelyakine2010@gmail .com.

RESUME

Dans ce travail on va montrer que les turbocodes sont parmi les meilleurs codes correcteurs d'erreurs utilisés en codage des chaînes de transmission pour l'optimisation des systèmes radio mobile WCDMA.

Redondance, diversité et parcimonie sont les mots clés du codage correcteur d'erreurs. Du côté du décodage, il s'y ajoute l'efficacité, c'est-à-dire le souci de tirer le meilleur parti de toutes les informations disponibles.

Parmi les codes correcteurs d'erreurs, on va appliquer les codes de Hamming, les codes convolutifs et les turbocodes pour minimiser la probabilité d'erreur afin d'améliorer les performances du système à la réception du signal.

MOTS-CLES : Code en bloc, code de Hamming, code correcteur d'erreur, code convolutionnel, système multi usagers, séquences de Gold, turbocode, WCDMA

ABSTRACT

In this work we will show that turbocodes are among the best error correcting codes used in coding the chains of transmission for the optimization of WCDMA mobile radio systems.

Redundancy, diversity and parsimony are the keywords of error correction coding. Decoding side, there is also the efficiency, that is to say, the desire to take full advantage of all available information.

Among the error-correcting codes, we will apply the Hamming codes, convolutional codes and turbocodes to minimize the probability of error to improve system performance at the reception.

KEYWORDS: Block code, Hamming code, error correcting code, convolutional code, multi-user system, Gold sequences, turbocode, WCDMA

1 INTRODUCTION

Par codes, on peut entendre plusieurs concepts bien distincts : cryptographie (RSA,..) ; codes de compression (Huffman,...) ; codes correcteurs d'erreurs utilisés dans ce travail.

Nous avons trois types de codes correcteurs d'erreurs : les codes en bloc, les codes convolutionnels et les turbocodes.

1.1 Codes en blocs

Les codes en blocs, avec leur structure algébrique, furent les premiers codes à être introduits pour faire de la détection et de la correction des erreurs.

Le codage en blocs consiste à associer à un bloc de données d de k symboles issus de la source d'information un bloc c, appelé mot de code, de n symboles avec $n \geq k$. La différence $(n - k)$ représente la quantité de redondance introduite par le code. La connaissance de la règle de codage en réception permet de détecter et de corriger, sous certaines conditions, les erreurs. Le rapport k/n est appelé rendement ou taux de codage du code [1].Parmi les codes en bloc, on utilise le code de Hamming pour lequel, les colonnes de la matrice de contrôle de parité sont les représentations binaires des nombres de 1 à n. Chaque colonne étant constituée de $m = (n - k)$ symboles binaires. Les paramètres du code de Hamming sont donc :

$n = 2m - 1$ et $k = 2m - m - 1$.

Les colonnes de la matrice de contrôle de parité étant constituées par toutes les combinaisons possibles de (n − k) symboles binaires sauf (00 · · · 0), la somme de deux colonnes étant égale à une colonne. Le nombre minimal de colonnes linéairement dépendantes est de 3. La distance minimale d'un code de Hamming est donc égale à 3, quelle que soit la valeur des paramètres n et k [1].

Soit un code de Hamming de paramètre m= 3. Les mots de code et les blocs de données sont alors respectivement constitués de n = 7 et k = 4 symboles binaires. La matrice de contrôle de parité peut être la suivante [1] :

$$H = \begin{bmatrix} 1110100 \\ 1101010 \\ 1011001 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P^T & I_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

et la matrice génératrice correspondante égale à

$$G = \begin{bmatrix} 1000111 \\ 0100110 \\ 0010101 \\ 0001011 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_4 & P \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.2 Le codage convolutionnel

Les codes convolutifs s'appellent aussi codes récurrents séquentiels. La méthode la plus simple pour définir un code convolutionnel est de décrire le dispositif employé pour le codage [2].

Un codeur convolutionnel de taux $R = k/n$, où k est le nombre de bits d'information à l'entrée du codeur et n désigne le nombre de symboles codés, est constitué d'un registre à décalage de K (longueur de contrainte du code) cellules connectées à n additionneurs modulo-2. Les connections rattachées à un même additionneur constituent un vecteur générateur de k dimensions.

$$G_i = (g_1, g_2, \ldots\ldots\ldots\ldots, g_n). \quad (3)$$

Le rapport $k/n < 1$ définit le taux de codage R, qui dans notre cas est égal à 1/n ($k = 1$). Un codeur transforme donc un mot binaire (ou q-aire) U_i de k symboles $\{u_{i,k}\}$ en un mot binaire (ou q-aire) V_i de n symboles $\{v_{i,n}\}$ appelé mot code. Un tel codeur est représenté à la figure 1.

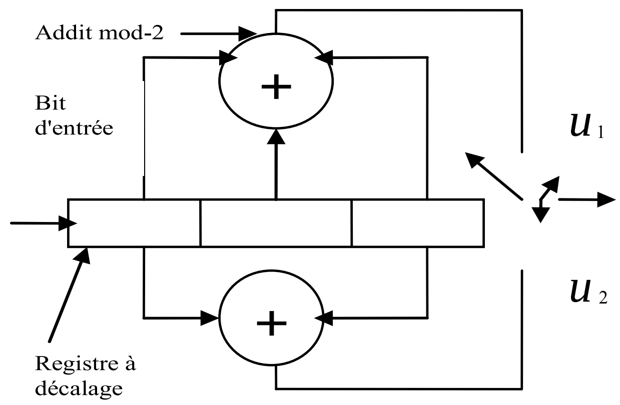

Figure 1 : Encodeur convolutionnel avec K = 3, k = 1 et n = 2 [2].

1.3 Les turbocodes

L'invention des turbocodes par Berrou et Alain a montré la possibilité de réaliser des systèmes de codes correcteurs d'erreurs s'approchant à quelques dixièmes de dB de la limite de Shannon à l'aide d'un décodage itératif (ou turbo) à décision douce ("soft") utilisant des algorithmes de faible complexité [3].

La figure suivante présente un turbocode binaire à mémoire ν = 3 utilisant des codeurs CSR élémentaires identiques (polynômes 15, 13). Le taux de codage naturel du turbocode sans poinçonnage est 1/3 d'après [1].

C'est un turbocode dans sa version la plus classique [3]. Le message binaire d'entrée, de longueur k, est codé, dans son ordre naturel et dans un ordre permuté, par deux codeurs CSR appelés C1 et C2, qui peuvent être terminés ou non. Dans cet exemple, les deux codeurs élémentaires sont identiques (polynômes générateurs 15 pour la récursivité et 13 pour la construction de la redondance) mais ce n'est pas une nécessité. Pour obtenir des rendements plus élevés, un poinçonnage des symboles de redondance Y1 et Y2 est effectué.

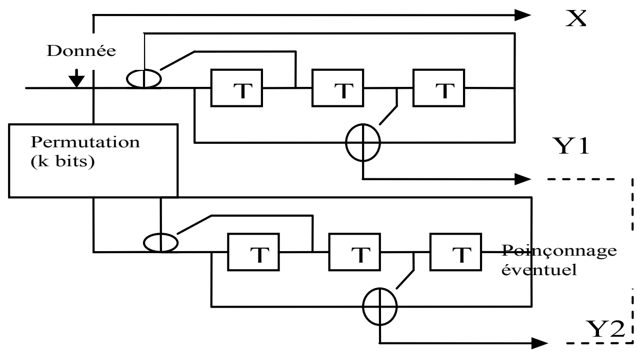

Figure 2 : Turbo code où R=1/3 [1].

2 L'APPLICATION DES CODES CORRECTEURS D'ERREURS

Le codage correcteur d'erreurs est un procédé indispensable pour la protection de l'information dans un système de communications et plus particulièrement dans un système multi usagers tel que décrit à la figure 3.

Une combinaison du codage correcteur d'erreurs et des séquences pseudo aléatoires peut donc être utilisée pour améliorer la capacité d'un système multi usagers.

En fait, notre application consiste à étudier et évaluer les performances de l'application du codage correcteur d'erreurs à un système WCDMA en utilisant des séquences pseudo aléatoires de Gold.

Les systèmes de communications à étalement de spectre, qui adoptent une technique de WCDMA, ont l'avantage de rejeter l'interférence à bande étroite, ainsi que le bruit et améliorer sensiblement la capacité du système [4].

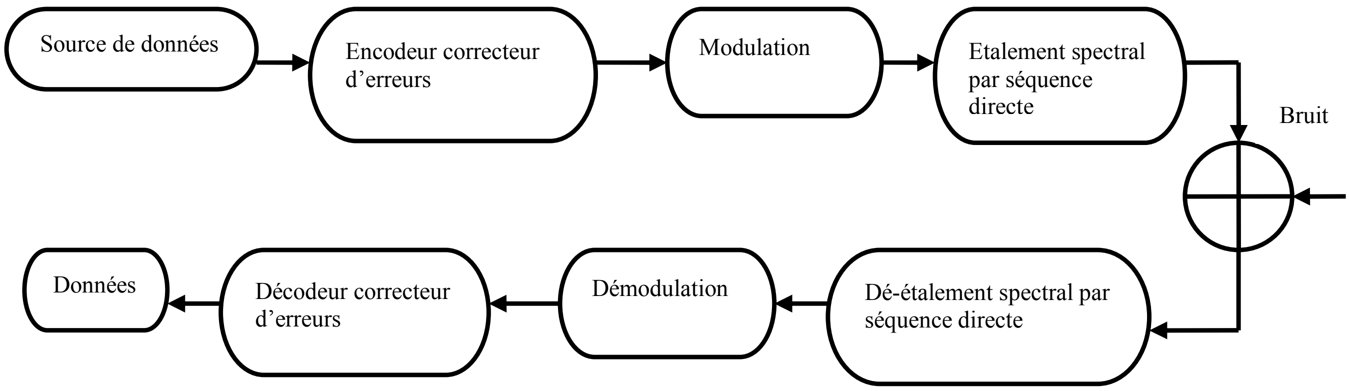

Figure3 : Système multi usagers codé

.

2.1 Les codes utilisés

Nous avons utilisé dans ce travail des codes de Hamming, des codes convolutionnels standards avec un décodeur de Viterbi [5] à décision ferme (Hard decision) et des turbocodes. L'application des turbocodes dans les systèmes de transmission multi usagers WCDMA qui emploient la rétroaction de l'information du turbo décodeur permet d'estimer et de supprimer les interférences [6].

Dans ce cas nous avons considéré le cas d'une modulation binaire de phase avec un bruit blanc gaussien additif. En général, la probabilité d'erreur minimale est donnée par l'expression (4) :

$$P_e < \sum_{d=d_{free}}^{\infty} C_d Q\left(\sqrt{\frac{2RE_b d}{N_0}}\right) \tag{4}$$

Où

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{e^{(-y^2)/2}}{\sqrt{2\pi}} dy \tag{5}$$

Dans ces conditions, la probabilité d'erreur par bit d'un code convolutionnel pour un taux de codage donné peut être bornée par (6) :

$$P_B \leq \frac{Q\left(\sqrt{d_f E_b / N_0}\right)}{\left[1 - 2\exp(-RE_b/N_0)\right]^2} \tag{6}$$

Où $R = k/n$ est le taux de codage, d_f est la distance libre du code, E_b/N_0 est le rapport de l'énergie par bit d'information sur la densité spectrale de puissance du bruit et avec $Q(x)$ la fonction d'erreur complémentaire donnée par l'équation (5).

3 SIMULATIONS ET RÉSULTATS

Tout d'abord on va commencer par appliquer le code de *Hamming*.

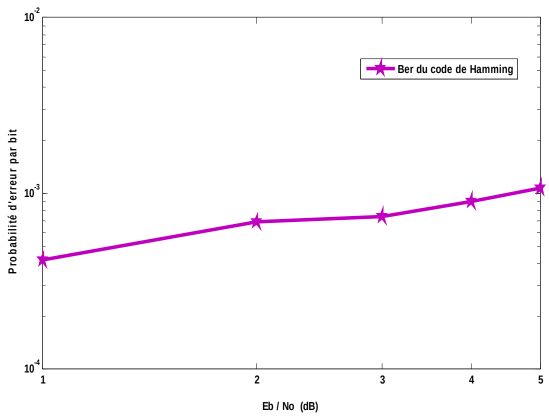

Figure 4 : Probabilité d'erreur pour un code de Hamming.

D'après la figure 4 nous remarquons que la probabilité d'erreur était de l'ordre de $4.2*10^{-4}$ au début puis elle augmente jusqu'à $1.06*10^{-3}$.

Dans la figure suivante nos simulations consistent à calculer la probabilité d'erreur par bit en fonction du SNR. Les performances d'erreur du codage convolutionnel appliqué à un système multi usagers peuvent être évaluées pour différents rapports signal à bruit.

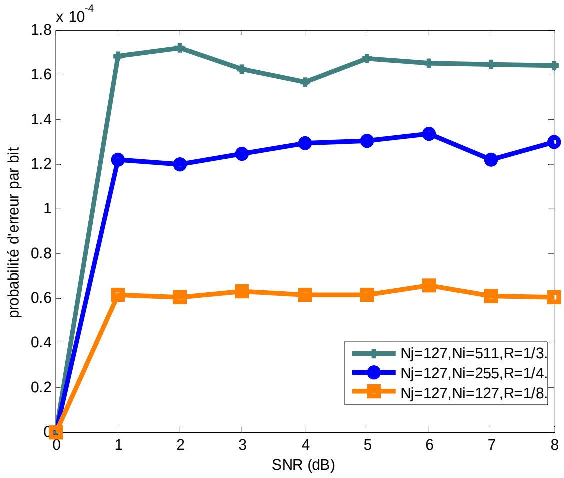

Figure 5 : Probabilité d'erreur pour un code convolutionnel.

La figure 5 présente les courbes de la probabilité d'erreur par bit en fonction du rapport signal à bruit qui varie de 0 à 8 dB. Notre système comporte un seul usager de référence ayant une séquence de code de période 127 et 10 usagers interféreurs.

Ces courbes sont obtenues en utilisant la même période de la séquence de code de l'usager de référence avec des séquences de codes des usagers interféreurs de 127, 255 et 511. On remarque que la probabilité d'erreur du système codé avec R=1/8 est plus faible que celle des systèmes codés avec R=1/4 et R=1/3. Cette probabilité peut atteindre $6.21*10^{-5}$.

Avec les codes convolutionnels, on peut donc avoir des probabilités d'erreurs de l'ordre de 10^{-5} avec un taux de codage R=1 /8, mais avec un tel taux de codage, l'algorithme devient de plus en plus complexe, ce qui nous amène à chercher un autre type de codage qui donnera des résultats meilleurs avec un algorithme moins complexe.

Enfin, nous avons appliqué les turbocodes pour coder le signal dans une chaîne de transmission. Dans ce cas nous avons utilisé un turbocode constitué de deux codes convolutionnels qui sont concaténés en parallèle. Les polynômes générateurs utilisés sont : G1= [1 1 1 1 1] et G2= [1 0 0 0 1] et le taux de codage pour chacun d'eux est R=1/3.

Tout d'abord, on va fixer le nombre d'itérations convenable pour ce code.

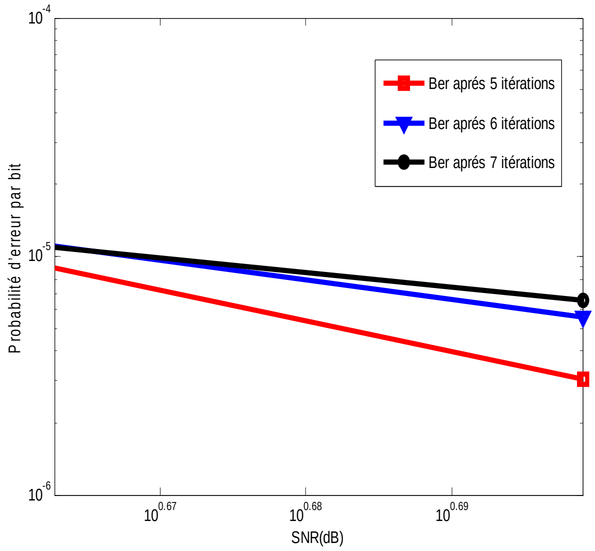

Figure 6 : Probabilité d'erreur pour un turbocode.

D'après la figure 6, on remarque que, après la 5ème itération, la probabilité d'erreur par bit devient plus grande ce qui veut dire que, pour notre modèle de turbocode, le meilleur nombre d'itérations est 5 et l'on obtient une probabilité d'erreur par bit de l'ordre de $3.052*10^{-6}$.

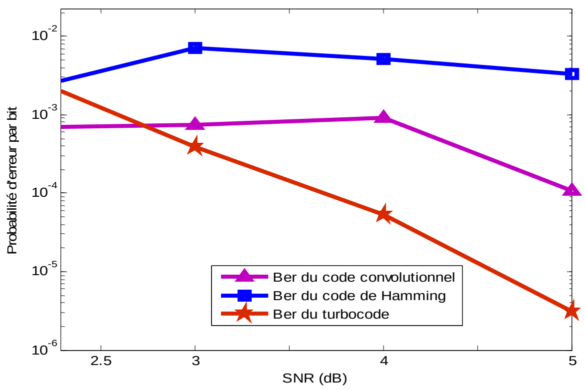

Figure 7 : Probabilité d'erreur des trois codeurs.

Dans cette figure nous avons une comparaison de résultats des trois codeurs pour un taux de codage R=1/3. On remarque que la probabilité d'erreur causée par le turbocode est la plus faible.

D'ici on peut conclure que les turbocodes sont les meilleurs codes correcteurs d'erreurs utilisés dans les chaînes de transmission radio mobile.

4 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons vu que des codes de Hamming, possédant de bonnes distances minimales, peuvent nous donner une probabilité d'erreur de l'ordre de $1.06*10^{-3}$. Avec les codes convolutionnels, on peut aller, avec un taux de codage de 1/8, jusqu'à $6.21*10^{-5}$, mais avec un tel taux de codage, on peut avoir une complexité d'algorithme à cause de la complexité des treillis du code. Les turbocodes ne nécessitent pas l'augmentation de la complexité des treillis des codes composants car ils sont constitués d'une concaténation parallèle de deux codes convolutionnels. Avec ce type de codage et un taux de R=1/3, on peut avoir une probabilité d'erreur de l'ordre de $3.052*10^{-6}$ qui est la plus faible des trois probabilités précédentes, ce qui montre que les turbocodes sont les meilleurs codes correcteurs d'erreurs pour l'optimisation des systèmes multi usagers.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Claude Berrou, Codes et turbocodes, édition Springer-Verlag, France ,2007.

[2] M. HENDAOUI, " Réception multi utilisateurs pour les systèmes radio mobiles AMRC ", thèse de magister, Université de Med Khider-Biskra, juillet 2008.

[3] C. Berrou, A. Glavieux et P. Thitimajshima, "Near Shannon limit Error Correcting Coding and Decoding: TurboCodes", Proceedings of ICC'93,Vol.2/3,pp.1064-1070,Geneva,Switzerland May1993.

[4] Tsui-Tsai Lin, "Blind IB-MSNR Beamforming for DSSS-based Communication Systems", Wireless Pers Commun, 49:227–244, DOI 10.1007/s11277-008-9569-z, (2009).

[5] Z. GHERBI, "Décodage des codes convolutionnels de taux très faibles pour les systèmes AMRC", thèse de M.Sc.A., Ecole Polytechnique de Montréal, mars 1996.

[6] Nuno Souto Rui Dinis Francisco Cercas ·João Carlos Silva ·Américo Correia "Transmitter/Receiver Method for Supporting Hierarchical Modulations in MBMS Transmissions" ,Wireless Pers Commun ,45:45–65 ,DOI 10.1007/s11277-007-9371-3,(2008).