

Turbo Détection Multi-utilisateur (DS-CDMA) pour la liaison montante du système UMTS-FDD

Ali AL Housseini, Samir SAOUDI, Thierry CHONAVEL, Mahmoud AMMAR

Département Signal et Communications
ENST-Bretagne, BP 832, 29285 BREST Cedex, France

ali.husseini, Samir.Saoudi, Thierry.Chonavel, Mahmoud.ammar@enst-bretagne.fr,

Résumé – L'utilisation conjointe de la détection multi-utilisateurs et du turbo décodage de canal conduit à bonnes performances pour un système d'accès multiple par répartition de code (AMRC ou CDMA). Dans cet article, nous proposons une nouvelle structure itérative pour le récepteur dans le cas de transmissions multi-trajets. Cette nouvelle structure est basée sur l'association d'un détecteur SIC/RAKE et d'un turbo-décodeur de canal, de façon à implémenter une procédure de turbo-détection/décodage. La complexité est linéaire par rapport au nombre d'utilisateurs. Les performances sont proches de récepteur mono-utilisateur.

Abstract – Multiuser detection and turbo coding are two of the most powerful techniques for enhancing the performance of next generation Code-Division-Multiple-Access (CDMA) systems. In this paper, a new iterative turbo-detection/decoding structure for multi-path DS-CDMA communications, using convolutive turbo-codes, is proposed. The new scheme is based on the combination of a SIC/RAKE detector structure together with a turbo-decoder. Both elements are associated so as to implement a turbo-detection/decoding procedure. The complexity of this new scheme is linear with respect to the number of users.

1 Introduction

De nombreux travaux ont été réalisés dans le domaine du CDMA durant ces dix dernières années [1]. Les détecteurs linéaires possèdent un bon compromis entre les performances et la complexité.

Par ailleurs, en 1993, C.Berrou a inventé les turbo-codes [2, 3], basés sur un décodage itératif et la notion d'information extrinsèque. Cette idée a été utilisée dans de nombreux domaines des télécommunications. En particulier, en transmissions CDMA, l'information extrinsèque peut être utilisée pour faire le lien entre le décodage de canal et la détection multi-utilisateurs.

En 1998, Moher a proposé un turbo-détecteur, mais de complexité en $O(2^K)$ [4] où K est le nombre d'utilisateurs. En 1999, X. Wang et V. Poor ont proposé une structure de turbo-détecteur basée sur la minimisation de l'erreur quadratique moyenne dans le cas d'une transmission asynchrone [5]. La complexité de cet algorithme est de $O(K^2)$. Plus récemment, X. Wang a adapté cette structure de turbo détecteur pour le cas des canaux à trajets multiples [6]. Par ailleurs S. Benedetto [7] a proposé un algorithme de détection dans le cas d'une transmission synchrone de complexité réduite en $O(K)$, mais avec des performances moindres que celles annoncées par X. Wang et V. Poor, et qui suppose connues les intercorrélations des signatures des utilisateurs. Notons que des structures avec une détection de type maximum de vraisemblance exact ou approchée, au coût de calcul réduit, ont également été proposées [8].

Dans cet article, nous proposons une nouvelle structure linéaire de turbo-détecteur basée sur l'association d'un détecteur multi-utilisateur à annulation itérative d'Interférence d'Accès Multiple (IAM), de complexité en $O(K)$ et d'un turbo décodeur, dans le cas d'une transmission asynchrone sur des ca-

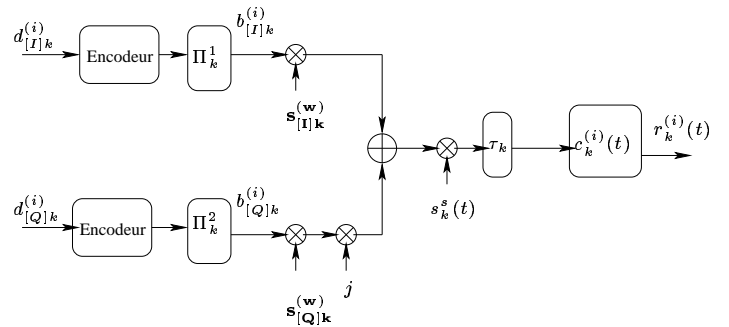


FIG. 1: Schéma de modulation et d'étalement du $k^{\text{ème}}$ utilisateur de la liaison montante du système UMTS-FDD.

naux de Rayleigh à trajets multiples. Les simulations sont effectuées en respectant la norme de la liaison montante du système UMTS-FDD.

Dans le paragraphe 2, nous rappelons la structure de la liaison montante de l'UMTS en mode FDD. La structure du détecteur proposé est présentée au paragraphe 3. Quelques simulations et conclusions sont données dans les paragraphes 4 et 5.

2 La liaison montante UMTS-FDD

La figure 1 montre le schéma de modulation et d'étalement pour le $k^{\text{ème}}$ utilisateur sur la liaison montante d'un système UMTS [9]. Les deux voies I (de trafic) et Q (de pilote) sont codées par un turbo codeur de rendement $R=1/3$ (voir figure 3). Pour cet utilisateur, les informations pour les voies I et Q sont notées respectivement $d_{[I]k}$ et $d_{[Q]k} \in \{-1, +1\}^M$: $d_{[I]k} =$

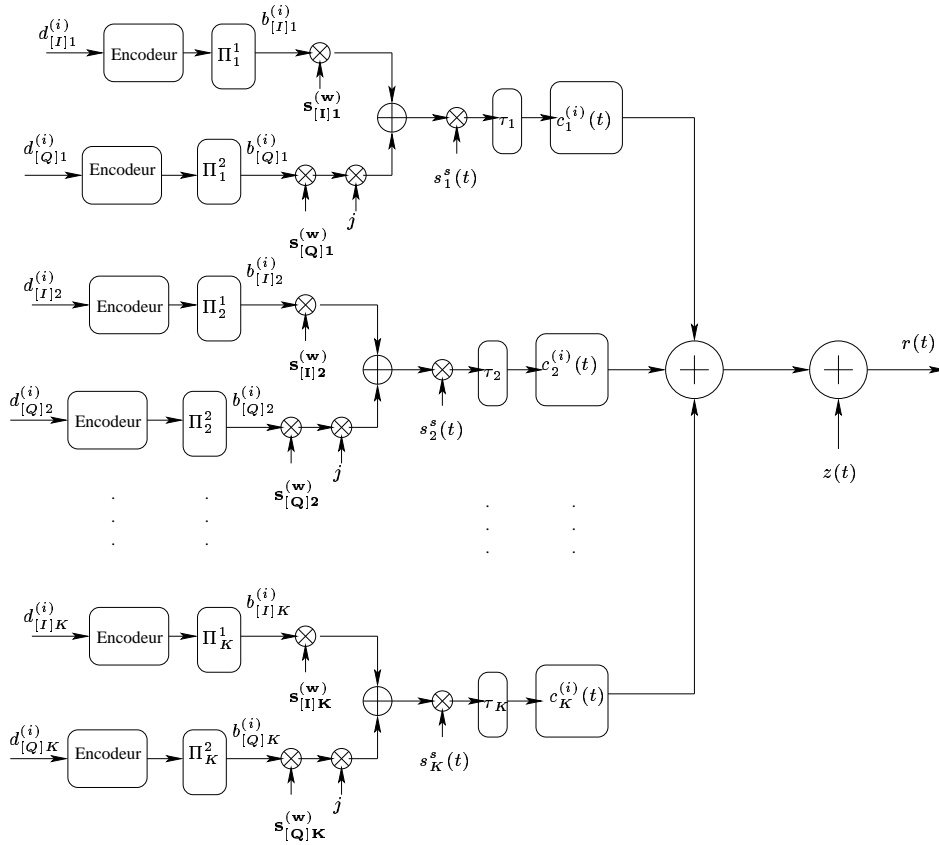


FIG. 2: Schéma de modulation et d'étalement de la liaison montante du système UMTS-FDD.

$(d_{[I]}(0), \dots, d_{[I]}(M))$ et $\mathbf{d}_{[Q]k} = (d_{[Q]}(0), \dots, d_{[Q]}(M)) \in \{-1, +1\}^M$, où M est la longueur du paquet émis. Après codage et entrelacement, les voies I et Q sont modulées (modulation BPSK), pour fournir les données $\mathbf{b}_{[I]k} = (b_{[I]}^{(0)}, \dots, b_{[I]}^{(N)})$ et $\mathbf{b}_{[Q]k} = (b_{[Q]}^{(0)}, \dots, b_{[Q]}^{(N)})$. Elles sont ensuite étalées par deux codes de Walsh différents $s_{[I]k}^{(w)}$ et $s_{[Q]k}^{(w)}$. $\mathbf{b}_{[I]k}, \mathbf{b}_{[Q]k} \in \{-1, +1\}^N$ et $N = M/R$, où R est le rendement du code. Nous utilisons les entrelaceurs Π_k^1 et Π_k^2 pour annuler l'influence entre symboles. Le signal résultant est multiplié par un code de brouillage (séquence de Gold) à valeurs complexes, noté $s_k^{(s)}(t)$, de longueur $2^{25} - 1$.

Pendant la durée du $i^{\text{ème}}$ symbole, $t \in [iT_b, (i+1)T_b[$ (T_b : durée d'un symbole), l'utilisateur $k \in \{1, \dots, K\}$ transmet le signal

$$D_k^{(i)}(t) = [A_{[I]k} b_{[I]k}^{(i)} s_{[I]k}^{(w)}(t - iT_b - \tau_k) + j A_{[Q]k} b_{[Q]k}^{(i)} s_{[Q]k}^{(w)}(t - iT_b - \tau_k)] \times s_k^{(s)}(t - \tau_k),$$

où $A_{[I]k} = \sqrt{E_{[I]k}}$ et $A_{[Q]k} = \sqrt{E_{[Q]k}}$ sont respectivement les amplitudes de la voie I et Q . Nous considérons que les amplitudes restent constantes durant le temps symbole. $E_{[I]k}$ et $E_{[Q]k}$ sont les énergies par symbole de la voie I et Q . $\tau_k \in [0, T_b[$ est le retard temporel (asynchronisme) du $k^{\text{ème}}$ utilisateur. Durant la transmission du $i^{\text{ème}}$ symbole, le canal du $k^{\text{ème}}$ utilisateur a une réponse impulsionnelle $c_k^{(i)}(t)$ de la forme

$$c_k^{(i)}(t) = \sum_{l=1}^L c_{k,l}^{(i)} \delta(t - \tau_{k,l}^{(i)}), \quad (2)$$

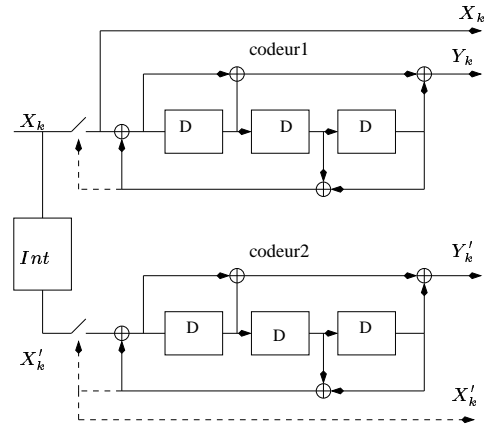


FIG. 3: Structure du turbo code ($R=1/3$; les lignes pointillées correspondent à la fermeture du treillis).

où L est le nombre de trajets du canal, $\tau_{k,l}^{(i)} \leq T_{max}$ est le retard relatif au trajet l et T_{max} l'étalement temporel maximal du canal. La simulation de la réponse impulsionnelle du canal est basée sur le modèle de Clarke [10] qui tient compte de l'évanouissement de Rayleigh et de l'étalement fréquentiel dû au Doppler.

Le signal reçu par la station de base en provenance du $k^{\text{ème}}$ utilisateur est le produit de convolution du signal transmis (1) par la réponse impulsionnelle du canal (2) (voir figure 2):

$$r(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L D_k^{(i)}(t - \tau_{k,l}^{(i)}) c_{k,l}^{(i)} + z(t), \quad (3)$$

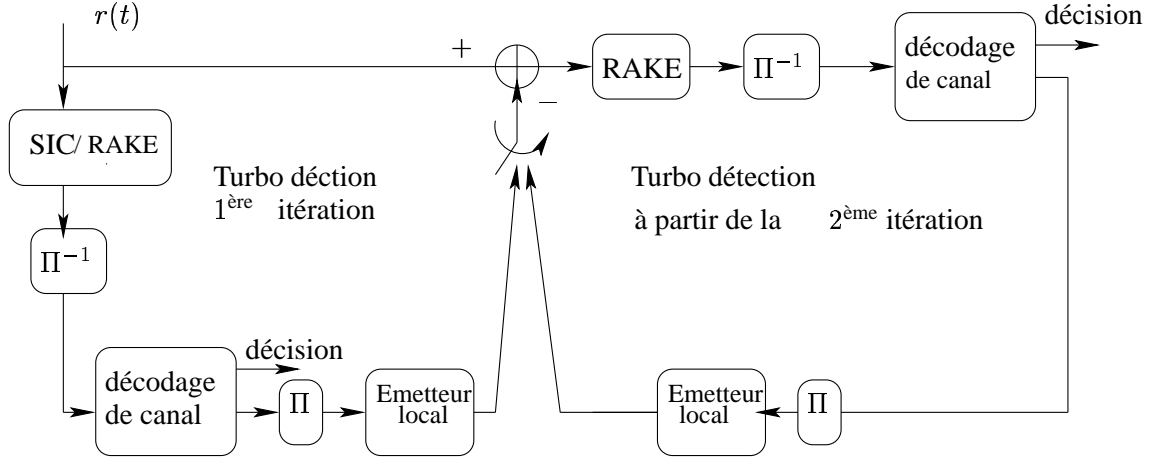


FIG. 4: Schéma du récepteur Turbo-CDMA dans la liaison montante de système UMTS-FDD.

où $z(t)$ est un bruit blanc gaussien à valeurs complexes de moyenne nulle et de variance σ^2 .

3 Structure du récepteur

La structure du récepteur est présentée sur la figure 4. Π et Π^{-1} sont respectivement les entrelaceurs et désentrelaceurs. A chaque itération (détecteur multi-utilisateur + turbo-décodeur du canal), une information extrinsèque est calculée pour chaque bit d'information ou de parité. Les informations extrinsèques serviront à l'itération suivante pour annuler l'interférence d'accès multiple.

La première itération consiste à utiliser le récepteur multi-utilisateurs SIC/RAKE, que nous avons proposé dans [11] : il consiste en une adaptation du détecteur itératif linéaire SIC pour lequel un récepteur RAKE mono-utilisateur est implémenté dans chaque unité d'annulation d'interférence (ICU). Le récepteur SIC/RAKE est suivi, après désentrelacement et du turbo-décodeur (basé sur l'algorithme BCJR [12], Max-logMap). Afin de pouvoir itérer la procédure de détection/décodage dans un processus turbo, on calcule l'information extrinsèque sur les bits d'information mais aussi sur les bits de parité.

A partir des informations extrinsèques calculées, on évalue une estimation souple de l'ensemble des éléments binaires. Un émetteur local permet ensuite de reconstruire le signal émis convolué avec le canal de transmission pour chaque utilisateur, en vue de soustraire les IAM. A partir de la 2^{ème} itération, après soustraction de l'IAM, on utilise pour chaque utilisateur un récepteur RAKE suivi d'un turbo décodeur de canal. Un émetteur local reconstruit finalement le signal de l'utilisateur pour préparer l'itération suivante.

Afin de prendre en compte le caractère asynchrone de la communication, on met en oeuvre une fenêtre glissante de taille $W = 2P + 1$ symboles. Lorsque la fenêtre est centrée sur les contributions des utilisateurs dans le $i^{\text{ème}}$ temps symbole, le signal d'entrée du détecteur RAKE du $k^{\text{ème}}$ utilisateur relatif au $i^{\text{ème}}$ symbole est de la forme

$$\left(\sum_{j=i-p}^{i+p} \sum_{k=1}^K D_k^{(i)}(t) * c_k^{(i)}(t) + z(t) \right) - (ISI^{(i)} + MAI_k^{(i)}), \quad (4)$$

où

$$ISI^{(i)} = \sum_{\substack{u=i-p \\ u \neq i}}^{i+p} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \tilde{D}_k^{(u)}(t - \tau_{k,l}^{(u)}) c_{k,l}^{(u)},$$

$$MAI_k^{(i)} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq k}}^K \sum_{l=1}^L \tilde{D}_j^{(i)}(t - \tau_{j,l}^{(i)}) c_{j,l}^{(i)}, \quad (5)$$

$$\tilde{D}_k^{(i)}(t) = [A_{[I]k} \tilde{b}_{[I]k}^{(i)} s_{[I]k}^{(w)}(t - iT_b - \tau_k) + j A_{[Q]k} \tilde{b}_{[Q]k}^{(i)} s_{[Q]k}^{(w)}(t - iT_b - \tau_k)] s_k^{(s)}(t - \tau_k).$$

Les estimations souples $\tilde{b}_{[I]k}^{(i)}$ et $\tilde{b}_{[Q]k}^{(i)}$ des symboles sont calculés à partir de l'information extrinsèque en sortie du décodage de l'itération précédente :

$$\tilde{b}_{[I]k}^{(i)} = 2.P(b_{[I]k}^{(i)} = +1) - 1, \quad \tilde{b}_{[Q]k}^{(i)} = 2.P(b_{[Q]k}^{(i)} = +1) - 1, \quad (6)$$

avec

$$P(\tilde{b}_{[j]k}^{(i)} = +1) = \frac{e^{\lambda_{i,k}}}{1 + e^{\lambda_{i,k}}}, \quad (7)$$

où $\lambda_{i,k}$ est l'information extrinsèque provenant du $k^{\text{ème}}$ utilisateur et du $i^{\text{ème}}$ symbole. Pour plus d'information concernant l'information extrinsèque, voir par exemple [13].

4 Simulations

TAB. 1: Retards des trajets

trajet	1	2	3	4	5	6
Utilisateur1	0	1	3	4	7	10
Utilisateur2	5	6	8	9	12	15
Utilisateur3	28	29	31	32	35	38
Utilisateur4	12	13	15	16	19	22
Utilisateur5	20	21	23	24	27	30
Utilisateur6	22	23	25	26	29	32
Utilisateur7	26	27	28	29	33	36
Utilisateur8	9	10	12	13	16	19
Utilisateur9	12	13	15	16	19	22
Utilisateur10	3	14	6	7	10	13

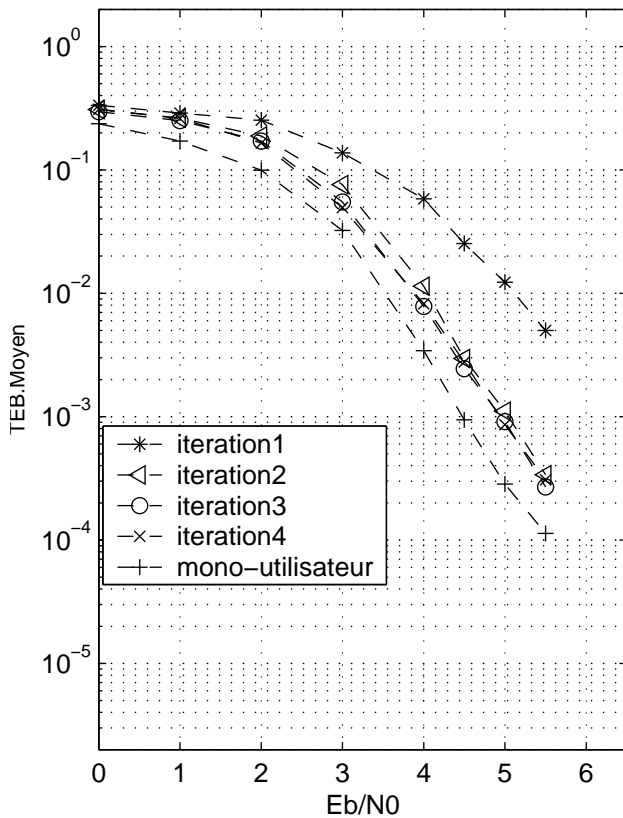


FIG. 5: TEB moyenne: $K = 10, N_c = 32$, Vehicular A.

Les codes de Walsh utilisés pour la simulation ont une longueur de $N_c = 32$. Le nombre d'itérations du détecteur SIC/RAKE est égale à 4. Les paquets émis ont une longueur de $N = 640$. Le nombre d'itérations du turbo-décodeur est égale à 10. Le nombre d'utilisateurs est $K = 10$. Le débit chip est de 3.84 Mcps. La simulation de la réponse impulsionnelle du canal est basée sur le modèle de Clarke [10]. Dans ces simulations, nous avons considéré des canaux de Rayleigh de type "Vehicular A" de l'ITU ($L = 6$ trajets, de puissances moyennes différentes). Le tableau 1 représente, pour chaque utilisateur les retards temporels (y compris le retard d'asynchronisme) des différents trajets. La vitesse du mobile est de 120km/h et la fréquence porteuse est de 2GHz , soit une fréquence Doppler maximale de $f_d = 222\text{Hz}$. La figure 5 donne le TEB (Taux d'Erreur Binaire) moyen en fonction du rapport signal à bruit. Elle montre que la perte, en terme de RSB par rapport au cas mono-utilisateur, est de 0,5 dB pour un $\text{TEB} = 10^{-4}$.

5 Conclusion

Dans cet article, on a proposé une nouvelle structure de turbo-détecteur de complexité réduite en $O(K)$, adaptée à la transmission sur la liaison montante asynchrone multi-trajets du système UMTS-FDD. Cette structure présente de très bonnes performances compte tenu de sa faible complexité.

Références

[1] S. Verdú. *Multiuser detection*. Cambridge University Press, 1998.

[2] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima. Near shannon limit error-correction coding and decoding: Turbo codes. In *Conf. on Communications (ICC'93)*, pages 1064–1070, 1993.

[3] C. Berrou and A. Glavieux. Near optimum error-correcting coding and decoding: Turbo codes. *IEEE Trans. Commun.*, 44, Oct. 1996.

[4] Michael Moher. An iterative multiuser decoder for near-capacity communications. *IEEE trans. on Com.*, 46(7):870–880, July 1998.

[5] X. Wang and H. V. Poor. Iterative (Turbo) soft interference cancellation and decoding for coded CDMA. *IEEE Trans.*, 47:1046–1061, July 1999.

[6] X Wang Li Qinghua and Costas N. Georghiades. Turbo Multiuser Detection for Turbo-Coded CDMA in Multipath Fading Channels. *IEEE trans. on vehicular tech.*, 51(5):1096–1108, September 2002.

[7] A. Tarabe, G. Montorsi, and S. Benedetto. A Linear Front for Iterative Soft Interference Cancellation and Decoding in Coded CDMA. In *ICC*, volume 1, pages 1–5, 11-14 Jun 2001.

[8] S. Vatou, Th. Chonavel, and S. Saoudi. Iterative multiuser detection and decoding for turbo-coded DS-SS systems. In *conf. Eusipco 2002*, 2002.

[9] Third Generation Partnership Project 3GPP Technical Specification Group TSG Radio Access Network RAN. Physical channels and mapping of transport channels onto channels (fdd) spreading and modulation (FDD). Technical Report 25.211, 3GPP, 1999.

[10] Vipin Sali. Simulation of Rayleigh fading Clarke's model using spectrum shaping. Technical report, Winlab, 1998.

[11] M. Ammar, T. Chonavel, and S. Saoudi. Iterative successive interference cancellation for multi-user DS/SS detectors in multipath channel. *annals of telecommunications*, T.57(1-2):105–121, Jan-Feb 2002.

[12] L. Bahl, J. Cocke, F. Jelinek, and J. Raviv. Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate. *IEEE Trans. Inform. Theory*, IT-20:284–287, March 1974.

[13] Zhiliang Qin, Kah Chan Teh, and Erry Gunawan. Iterative Multiuser Detection for Asynchronous CDMA With Concatenated Convolutional Coding. *IEEE journal on selected areas in com.*, 19(9):1784–1792, September 2001.