

Turbo codes: performances et simulation dans le canal radio-mobile

Mouhamadou Lamine Sylla, étudiant 2^e cycle

Dr Paul Fortier, directeur de recherche

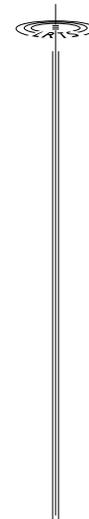
Abstract: A new class of recursive systematic convolutional codes using a parallel concatenation, the so called turbo codes, are considered. This new coding scheme can achieve a BER of 10^{-5} at an $E_b/N_0 = 0.7$ in the additive white gaussian noise channel. We present some simulation results obtained in different mobile radio channels with an encoding scheme well suited to the new cellular standards defined in the CDMA IS-95 and the GSM. The association of turbo code with high spectrally efficient modulations (TC-QAM) could be an alternative to TCM. This new scheme achieve better performance than the conventional TCM with less decoding complexity.

Résumé: Les performances d'une nouvelle classe de codes convolutionnels: codes turbo sont examinées. Ces codes sont formés à partir d'une concaténation en parallèle de codes convolutionnels recursifs et systématiques. Il a été montré que ces codes sont capables d'approcher la limite de Shannon dans le canal gaussien avec un TEB de 10^{-5} pour $E_b/N_0 = 0.7$. Nous présentons ici des résultats de simulation dans différents canaux radio mobile et ceci pour des formats d'encodage plus adaptés aux nouveaux standards cellulaires. Également le système TC-QAM étudié pourrait être une alternative au TCM dans la mesure où il donne de meilleurs résultats pour une complexité moindre.

Depuis la première publication sur les codes turbo, différents travaux ont été réalisés. La plupart de ces travaux illustraient leur performance ou présentaient des moyens d'optimisation en utilisant des modulations binaires. Mais le souci de transmettre à des taux élevés tout en se confinant à une largeur de bande finie a entraîné certains auteurs [1][2][3] à considérer l'application des codes turbo à des modulations à haute efficacité spectrale. Par ailleurs, le format d'encodage proposé à l'origine était inadapté aux nouveaux standards cellulaires, tels que le GSM ou le IS-95, qui requièrent des trames de longueur inférieure à 200 bits. C'est dans ce sens que nous entendons présenter des résultats obtenus avec une longueur de bloc de 192 bits (CDMA IS-95) aussi bien en modulation binaire qu'en modulation multi-niveaux.

L'encodeur turbo est constitué de deux codeurs convolutifs recursifs et systématiques (RSC) de longueur de contrainte $K = 3$ et de polynôme générateur (5,7) concatenés en parallèle via un entrelaceur de taille aussi petite que 192 bits. Grâce au poinçonnage des bits de parité, différents taux peuvent être synthétisés afin d'augmenter l'efficacité spectrale.

Le TCM constitue aujourd'hui un excellent recours pour les canaux à largeur de bande



finie; cependant, il requiert un taux de codage $R = b/(b+1)$ pour une modulation à 2^{b+1} points. Cette exigence du TCM augmente le nombre de branches de transitions du treillis ce qui rend le décodage encore plus complexe. À la différence du TCM, le système présenté ici part d'un taux de codage $R = 1/2$ pour une constellation de 16 points. À la sortie de l'encodeur, la séquence $(u_1, c_1, u_2, c_2, \dots)$ est modulée suivant deux 4-ASK en quadrature. Ceci est équivalent au QAM 16 où les composantes I et Q sont codées (suivant le code de Gray) indépendamment. Les symboles ASK $\{x_k\}$ sont présentés à l'entrée du canal dont trois modèles ont été simulés:

$$\text{Rummler} \quad y_k = x_k + bx_{k-n} + v_k$$

$$\text{Rice} \quad y_k = x_k + a_{k-n}x_{k-n} + v_k$$

$$\text{et Rayleigh (fully interleaved flat fading)} \quad y_k = a_k x_k + v_k$$

b étant l'atténuation du chemin secondaire, n le délai, a_k a une distribution de Rayleigh et v_k est le bruit additif gaussien. Les deux premiers modèles reproduisent le phénomène de sélectivité en fréquence par l'introduction de délai entre les trajets [5][6], tandis que le dernier reproduit le phénomène d'évanouissement multivoies [7].

Ce système pourrait être une alternative au TCM dans la mesure où il donne de meilleures performances pour une même efficacité spectrale et le décodage reste plus simple. En effet, grâce à l'approche pragmatique [1], le décodeur peut être utilisé pour tous les taux de codage. Le décodeur Turbo déjà optimisé pour une modulation binaire est basé sur l'algorithme SOVA [4] pour produire l'information extrinsèque sur les bits décodés. À la sortie du canal le symbole $y_k = x_k + n_k$ est décomposé pour obtenir le rapport de vraisemblance logarithmique (LLR) des bits composants un symbole ASK:

$$LLR(u_k) = y_k \quad (1)$$

et

$$LLR(u_k) = |y_k| - 2d \quad (2)$$

$2d$ étant la distance entre deux symboles dans la constellation de départ. Ces valeurs constituent l'entrée du decodeur (soft inputs).

Une autre application particulière a été examinée en l'occurrence les modulations multiporteuses (OFDM). La robustesse de ce type de modulation face aux interférences intersymboles jumelée aux performances remarquables des codes turbo permettent d'atteindre des taux d'erreur (TEB) de l'ordre de 10^{-5} pour E_b/N_0 inférieur à 9 db dans un canal de Rummler.

Sur la figure 1 nous avons représenté les résultats de TC avec une modulation QPSK dans un canal de Rayleigh. le gain de codage sur le QPSK non codé est de l'ordre de 15 db à un BER de 10^{-4} .

Sur la figure 2 apparaissent deux courbes représentant le TCM à 4 états avec une modulation 8-PSK et les codes turbo avec un blocs de taille 1022 modulés en QAM 16. Les deux

systèmes ont la même efficacité spectrale de 2 bits/sec/Hz. On peut voir que les codes turbo (avec seulement deux itérations) donnent toujours de meilleures performances pour un rapport signal à bruit (E_b/N_0) supérieur à 4.5 db.

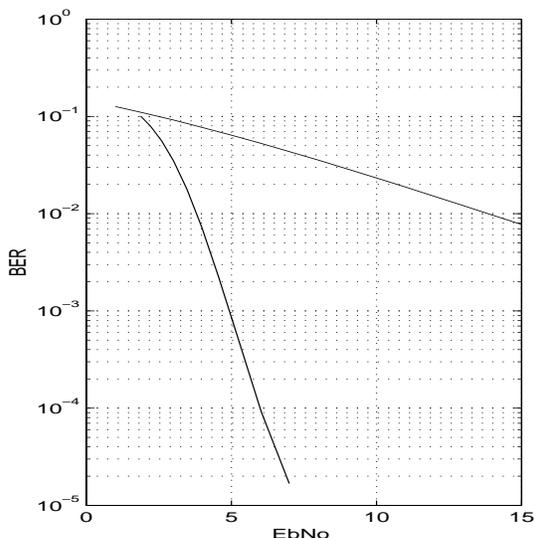


Figure 1 : Performances dans un canal de Rayleigh; courbe (a) QPSK non codé
courbe (b) TC-QPSK

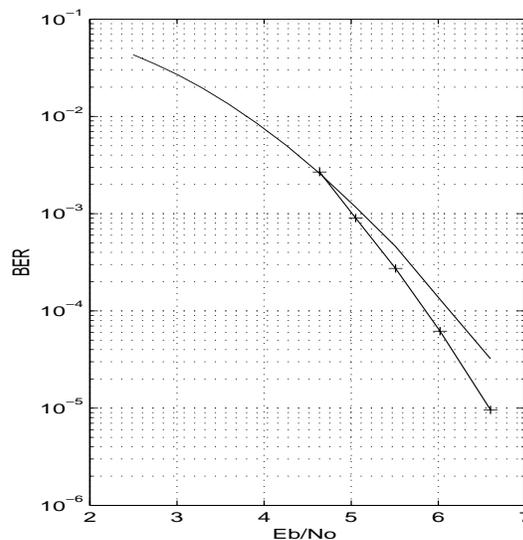


Figure 2 : Performances dans un canal AWGN; courbe (a) TCM 4 états,
courbe (b) TC-QAM 16.

Références:

- [1] S. Goff, A. Glavieux, and C. Berrou, "Turbo-codes and high spectral efficiency modulation", in Proc., IEEE Int. Conf. on Commun., pp. 645-9, May 1994.
- [2] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, and F. Pollara, "Parallel concatenated trellis coded modulation", in Proc., IEEE Int. Conf. on Commun., pp. 974-8, May 1996.
- [3] P. Robertson and T. Worz, "Coded modulation scheme employing turbo codes", Electronics Letters, vol. 31, pp.1546-7, Aug. 31st 1995.
- [4] J. Hagenauer and L. Papke, "Decoding turbo codes with the soft-output Viterbi algorithm (SOVA)", in Proc., IEEE Int. Symp. on Inform. Theory, p. 164, June 1994.
- [5] J. Proakis, Digital Communications, third edition. New York: McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [6] W. D. Ruml et al. , "Multipath fading channels models for microwave digital radio", IEEE Communication Magazine, vol. 24, Nov. 1996.
- [7] W.C.Lee, Mobile Communication Engineering, McGraw-Hill, 1982.

