

Implantation d'un récepteur Multi-Utilisateurs appliqué à la liaison montante UMTS

M. TOUZRI¹, S. SAOUDI, S. KEROUEDAN, P. ADDE

¹ GET / ENST-Bretagne / PRACOM / CNRS-TAMCIC. ENST-Bretagne, Technopole Brest-Iroise, CS 83818, 29238 BREST, France

Makram.Touzri@enst-bretagne.fr

Résumé – Cet article présente les étapes préparatoires à l'implantation d'un récepteur multi-utilisateurs appliqué à la liaison montante du système UMTS. Tout d'abord, la comparaison des résultats des simulations d'une détection mono-utilisateur à base de Filtre Adapté avec une détection multi-utilisateurs à suppression d'interférence successive (SIC) dans le cas synchrone permet de valider les choix faits. Puis dans un contexte asynchrone à trajets multiples, il est possible de comparer les performances d'un récepteur RAKE à celles d'un récepteur SIC/RAKE.

Les simulations sont faites avec un traitement à valeur réelle d'une part et à valeur entière d'autre part pour permettre l'étude et l'optimisation de la quantification.

Abstract – In this paper, we introduce the first step for the implementation of a multi-user detection for the UMTS uplink channel. We discuss results of simulation performed with the use of a single detection and a multi-user detection. We compare performances of a Matched Filter vs. Successive Interference Cancellation receiver in the synchronous case and a RAKE vs. a SIC/RAKE receiver in the asynchronous and multi-channel case. Simulation results are compared in both real and integer computing.

1. Introduction

La troisième génération de téléphonie mobile, l'UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) est basée sur l'utilisation de l'Accès Multiple par Répartition de Code à large bande (AMRC) ou le *Wideband Code Division Multiple Access* (W-CDMA) à étalement direct de spectre à 3.84 Mcps en modulation QPSK pour atteindre des débits théoriques avoisinant les 2 Mbps [1].

Cependant, l'Interférence d'Accès Multiple (IAM) réduit fortement le nombre d'utilisateurs actifs. Ceci est dû principalement aux trajets multiples du canal de transmission qui dégradent l'orthogonalité des codes utilisés.

Pour accroître le nombre d'utilisateurs actifs, des résultats acceptables sont obtenus avec une détection mono-utilisateur et en perfectionnant le décodage canal [2]. Mais cette approche présente encore des limites vis à vis des taux de charge et débits élevés.

Dans ce contexte, des méthodes de détection multi-utilisateurs ont été élaborées [3] et ont atteint de bonnes performances théoriques. Elles présentent cependant, une complexité accrue en terme d'intégration sur circuit.

Dans cet article, on étudie l'implantation d'un récepteur multi-utilisateurs à suppression d'interférence successive (*Successive Interference Cancellation*) (SIC) appliqué au cas d'une liaison montante du système UMTS.

On s'intéresse à la comparaison des performances et à l'optimisation du traitement à valeur réelle et du traitement à valeur entière de la structure proposée [4] dans le cas d'un canal synchrone.

Ensuite, on traite l'architecture SIC/RAKE donnée dans [5] et on présente les premiers résultats en traitement à valeur entière dans le cas du canal asynchrone à trajets multiples.

Dans cette première approche, on étudie la détection multi-utilisateurs SIC et SIC/RAKE sans l'utilisation de codage canal.

2. Suppression d'interférence successive

2.1 Canal synchrone

Le SIC est un processus itératif de détection multi-utilisateurs. Sa structure est composée d'une série d'unités de suppression d'interférence (*Interference Cancellation Unit* ICU). Chaque ICU est composé de deux blocs (Fig. 1.b). Le premier est un Filtre Adapté (FA). Sa sortie est injectée dans le deuxième bloc qui est un Emetteur Local. Ce dernier ré-émet la sortie du FA pour générer une estimation du signal émis par l'utilisateur k . La sortie de ICU est un signal résiduel e résultant de la différence du signal reçu et du signal généré. Ce processus est répété pour tous les utilisateurs K et pour les M étages (Fig. 1.a).

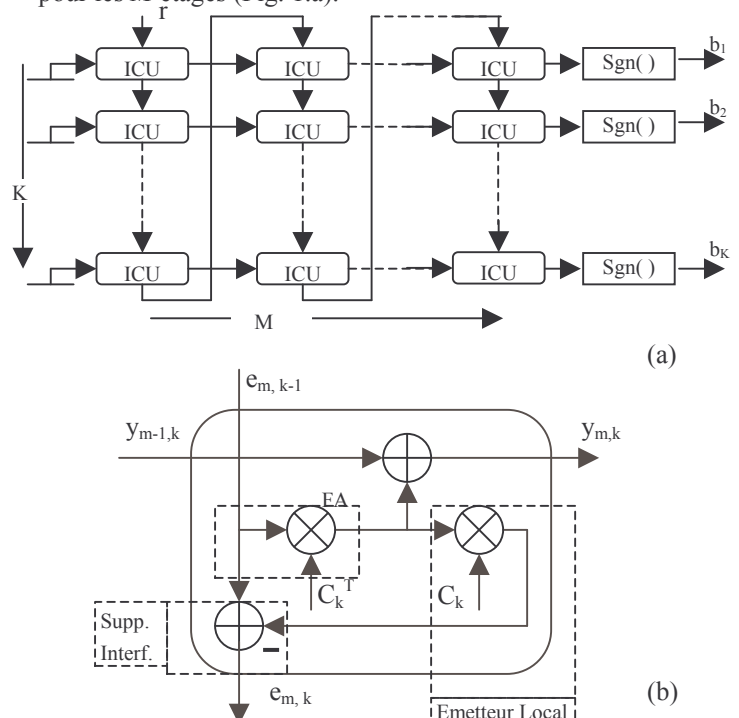


Fig.1. SIC : (a) Structure générale. (b) Structure de l' ICU

2.2 Simulation

Dans la simulation du cas synchrone, et pour permettre d'introduire un défaut d'orthogonalité, seuls des segments de codes de *Gold* de la longueur du facteur d'étalement, sont utilisés pour la discrimination entre utilisateurs.

Les paramètres des simulations sont : le nombre d'étages $M=5$, le facteur d'étalement $N_c=16$ et le nombre d'utilisateurs $K=8$, ce qui signifie un taux de charge égal à $K/N_c=50\%$. Les puissances reçues des utilisateurs sont supposées égales.

Le Taux d'Erreurs Binaire (TEB) est une moyenne pour tous les utilisateurs. Cependant, l'affichage d'un TEB par utilisateur pourrait montrer une différence entre le premier et le dernier utilisateur traité. En effet, celui-ci profite pleinement de la suppression d'interférence successive.

Les résultats obtenus (Fig. 2) montrent la convergence du SIC qui dépasse dès le premier étage, la performance du FA. Le dernier étage du SIC a tendance à s'approcher de la courbe de référence qui illustre le TEB pour la transmission d'un seul utilisateur.

La valeur optimale de M dépend du taux de charge K/N_c .

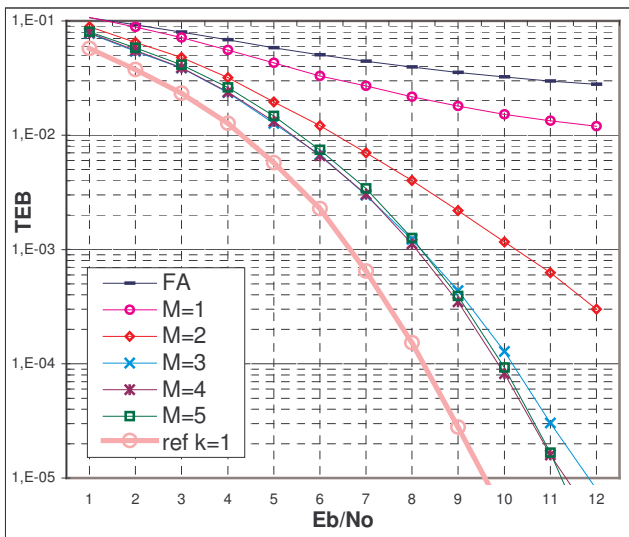


Fig. 2 : Performance du SIC en fonction du nombre d'étages M .

3. Quantification

3.1 Processus

L'implantation de la structure du SIC est précédée d'une adaptation de l'algorithme de traitement et son passage en calcul à valeur entière au lieu du calcul à valeur réelle. Ce qui se traduit par un calcul dans un intervalle à valeur entière signée et échantillonné à $\pm 2^{n-1}$ où n est le nombre de bits de quantification. La Fig. 3 illustre ce passage ainsi que la description du processus de la simulation avec une branche en calcul « réel » et une en calcul « entier » pour permettre une comparaison directe des performances. Le facteur d'échelle F utilisé est calculé en fonction de K , N_c et n qui sont connus au niveau du récepteur.

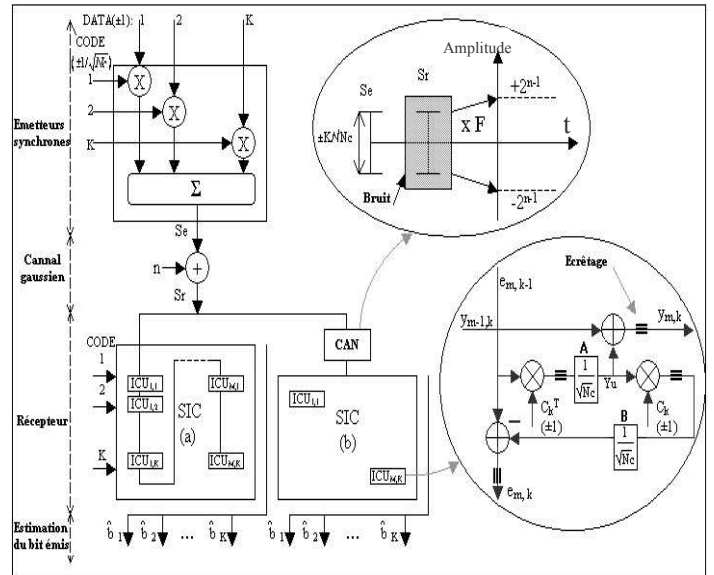


Fig. 3 : Processus des simulations : (a) réel. (b) entier.

3.2 Simulations

Les résultats de la Fig. 4 permettent de se fixer un nombre de bits de quantification n constant durant tout le processus du SIC et égal à 8 pour avoir des performances quasiment égales à celles obtenues en calcul à valeur réelle et ceci dans un intervalle de rapport signal à bruit donné.

Toutefois, des modifications peuvent être apportées pour réduire le nombre n à l'intérieur de chaque ICU sans dégrader les performances globales du SIC jusqu'à une limite en terme de rapport signal à bruit (autour de 8 dB).

En effet, la Fig. 3. montre une division par $\sqrt{N_c}$ dans un but de normalisation. Ceci est dû aux valeurs en ± 1 prises par les codes d'étalement dans le traitement à valeur entière contrairement au cas réel où ils prennent des valeurs en $\pm 1/\sqrt{N_c}$ [4]. Cette normalisation se traduit, dans le calcul à valeur entière, à faire une division par $\sqrt{N_c}$ à chaque multiplication par le code (deux fois par ICU).

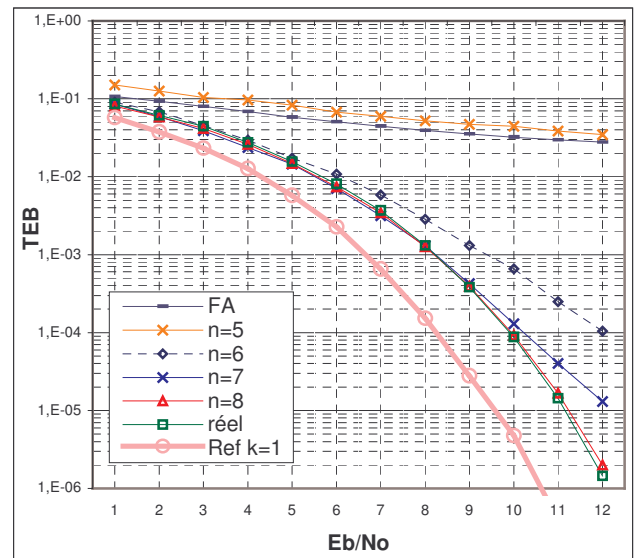


Fig. 4 : Résultats réel-entier ; $K=8$, $N_c=16$, $M=5$.

Cependant ces deux divisions partielles peuvent être groupées en une seule division par N_c . Ceci permet de simplifier la division en binaire et se traduit dans le cas général où $N_c=2^c$, par un décalage à droite de c cases.

« $N_c = 256 / 2^j$, avec $j = 0, \dots, 6$ », ce qui donne à N_c les valeurs $\{4, 8, 16, 32, 64, 128 \text{ et } 256\}$.

Le choix de l'emplacement de cette division groupée au niveau de ICU donne des performances égales (réel-entier) dans la limite de 8 dB et favorise le point A (Fig.3).

En effet, les performances restent identiques avec l'augmentation du nombre d'étages M et les dynamiques des sorties du FA et de l'émetteur local sont petites et peuvent être quantifiées avec un nombre de bits plus petit.

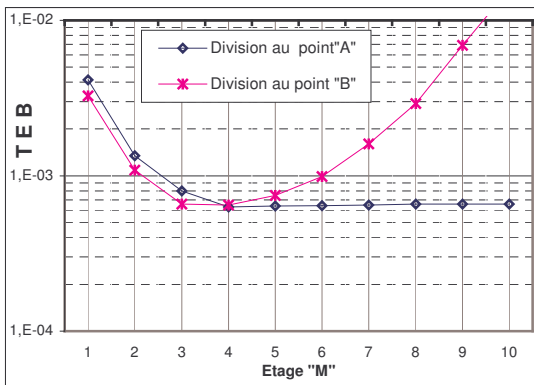


Fig. 5 : Résultat SIC à 8dB selon modification

En pratique et avec un nombre de bits de quantification global égal à 8, on peut réduire la quantification de la sortie du SIC ($Y_{m,k}$) à 6 bits et celle du filtre adapté (Y_u) à 4 bits.

Ces modifications apportées dans le traitement à valeur entière, permettent d'aller jusqu'à la suppression de cette division et de faire une soustraction d'interférence dure (Hard) dans l'ICU. La Fig. 6. montre le processus suivi.

Il est à noter l'addition d'une zone de Masquage (Mask) pour annuler la suppression d'interférence dans le cas de faibles valeurs de sortie du FA où on a une estimation médiocre du symbole envoyé. La Fig. 7. illustre l'avantage de cette modification, dans la limite de 8 dB, appliquée au cas « entier » et aussi au cas « réel » (Fig. 7. réel modif.) pour permettre une comparaison.

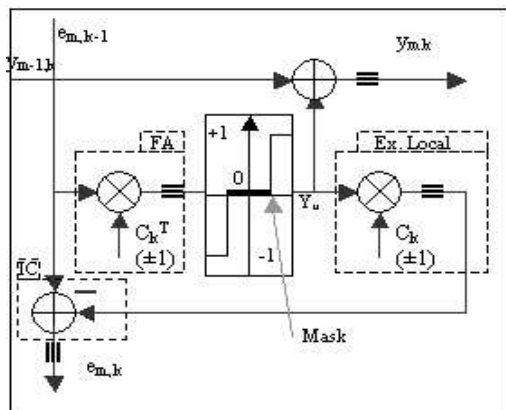


Fig. 6 : ICU modifié : Structure.

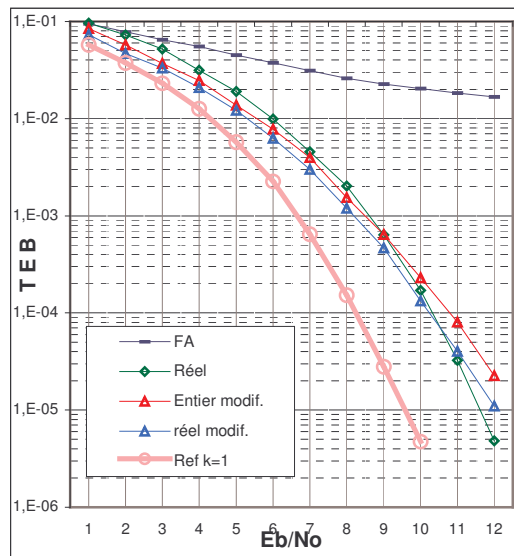


Fig. 7 : ICU modifié : Résultats

Toutefois, il est à noter que ces modifications affectent la robustesse du système vis à vis de l'effet d'éblouissement.

Cependant, le but est de réduire au maximum la complexité du SIC pour mieux maîtriser son comportement et permettre sa combinaison avec un décodage canal.

Les simulations faites dans le cas synchrone, permettent d'approuver une utilisation convenable du SIC avec 8 bits et avec 3 étages dans un rapport signal sur bruit inférieur ou égal à 8 dB.

4. SIC / RAKE

4.1 canal asynchrone à trajets multiples

L'architecture générale du SIC reste la même, tandis que l'ICU est modifié pour englober un récepteur RAKE à L branches. Celui-ci se charge d'aligner les signaux issus des trajets multiples. Ces signaux sont composés de deux voies en quadrature de phase, ce qui change tout le traitement en complexe. Les paramètres des simulations sont les suivants :

- des codes de Gold $C_k^{(s)}$ sont utilisés pour la discrimination entre utilisateurs,
- des codes de Walsh $C_{[I]k}^w, C_{[Q]k}^w$ sont utilisés pour séparer respectivement la voie de données « I » et la voie de contrôle « Q »,
- le facteur d'étalement N_c de la voie de contrôle est égal à 256,
- le N_c de la voie de donnée varie de 4 à 256,
- le nombre de trajets par utilisateur $L=6$,
- le modèle de Clarke est utilisé pour simuler un canal de Rayleigh et fournir les coefficients $C_{k,l}$ et les retards des trajets à partir, entre autre, du nombre de trajets et de la fréquence Doppler.

Dans la référence [5], les retards (en Chips) sont compris dans l'intervalle $[0, 2 \times N_c]$ correspondant à un maximum de N_c retards entre les utilisateurs et N_c retards entre les trajets, d'où l'utilisation d'une fenêtre glissante dans le traitement pour optimiser les performances. La structure d'une unité de suppression d'interférence dans le cas asynchrone à trajets multiples est illustré à la Fig. 8.

4.2 Simulations

Les simulations sont réalisées avec $n=8$ bits et avec un écrêtage en entrée et en sortie de ICU.

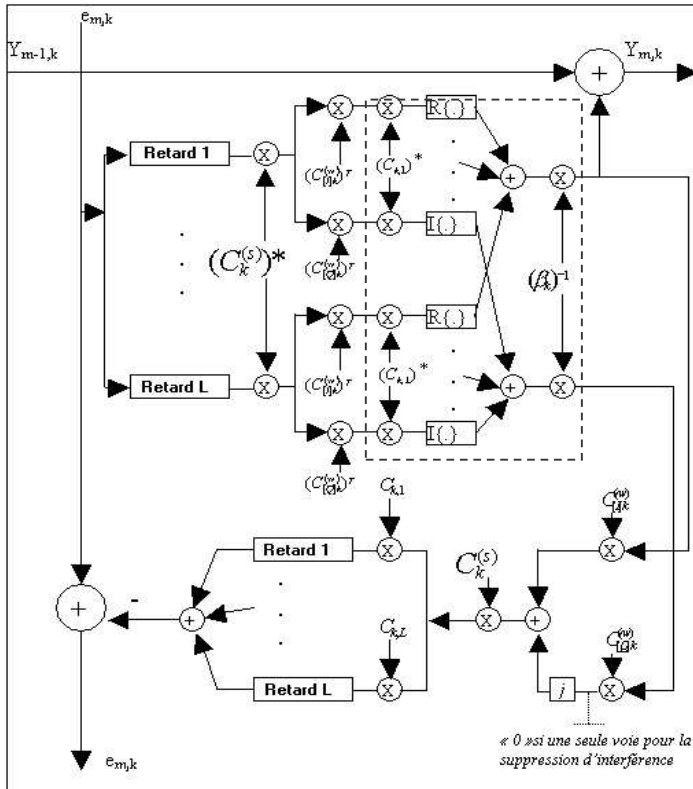


Fig. 8 : Structure d'une unité SIC/RAKE.

La Fig.9 montre les performances obtenues respectivement avec le traitement à valeur réelle, le traitement à valeur entière sans écrêtage interne et le traitement à valeur entière avec écrêtage interne. L'écrêtage externe au niveau des entrées et sorties de ICU est toujours effectué.

La performance du détecteur mono-utilisateur, correspondant à l'utilisation d'un simple RAKE par utilisateur, est la même en traitement à valeur réelle et entière. En effet, la dégradation due à la quantification ne se voit pas puisque l'estimation du symbole émis est une simple décision dure sur la sortie du RAKE. Par contre l'utilisation du SIC, qui est un processus itératif, propage l'erreur de quantification et affecte le signal résiduel qui est la sortie de chaque ICU. D'où l'utilisation d'un nombre de bits de quantification plus grand à l'intérieur de chaque ICU du SIC pour améliorer la précision sur l'estimation des bits reçus.

Le bloc en pointillé sur la Fig. 8 délimite l'utilisation de $n=16$ bits pour la quantification et se situe juste avant la normalisation par le facteur β_k et après l'utilisation des coefficients du canal.

En conséquence, et pour réduire le nombre de bits de quantification interne, la normalisation par β_k peut être placée sur chaque branche du RAKE. Ceci donne lieu à « L » normalisations différées par β_k et permet de réduire la quantification à 12 bits avec une légère dégradation des performances. Celles-ci sont illustrées par la courbe « Entier écrêté » dans la Fig. 9.

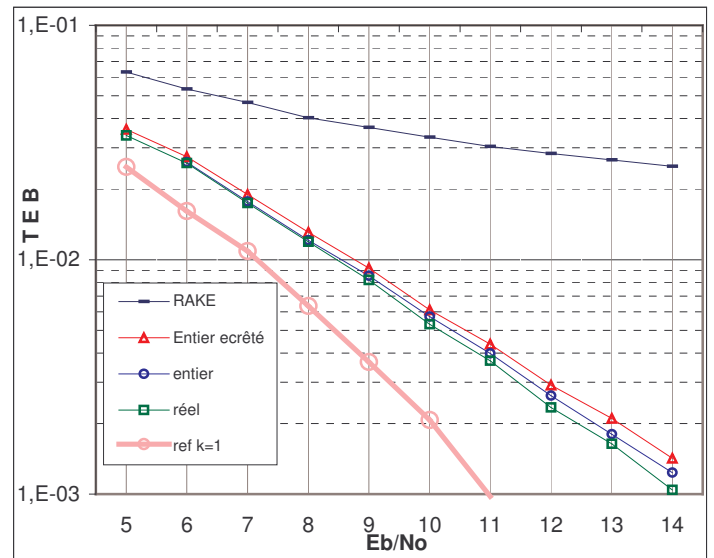


Fig. 9 : SIC/RAKE

$K=8, N_c I=32, N_c Q=256, M=3$. SIC sur une seule voie.

5. Conclusion

Dans cet article, on a préparé l'implantation d'un récepteur multi-utilisateurs appliqué à la liaison montante du système UMTS. Pour cela, on est passé du traitement à valeur réelle au traitement à valeur entière dans le cas synchrone et dans le cas asynchrone à trajets multiples. Les résultats obtenus sont prometteurs et il reste à optimiser l'algorithme du détecteur.

Cette première étape nous a permis de maîtriser la détection multi-utilisateurs, ce qui facilitera son association dans la prochaine étape avec un décodage canal à base de turbo-codes. On vise la conception d'une structure combinée performante avec un nombre réduit d'itérations au niveau du décodage canal et de la détection multi-utilisateurs.

L'objectif principal est l'étude et l'implantation d'une structure intégrant deux processus itératifs à savoir la Détection Multi-Utilisateurs et le Turbo-décodage pour des systèmes de réception à base de CDMA.

Références

- [1] TS 25.213 UMTS. *spreading modulation (FDD)* 3GPP Technical specification, June 2001.
- [2] TS 25.213 UMTS. *Multiplexing and channel coding (FDD)*. 3GPP Technical specification, June 2001.
- [3] S. Verdu. *Multi-user detection*. Cambridge University Press 1998.
- [4] M. Ammar, T. Chonavel, S. Saoudi. *Nouvelle structure SIC itérative avec estimation conjointe du canal pour la liaison montante du système UMTS-FDD*. GRETSI, Toulouse, France, Septembre 2001.
- [5] M. Ammar. *Détection multi-utilisateurs pour l'UMTS*. Thèse, département Signal et communication, ENST-Bretagne, juin 2002.
- [6] L.C.A Hui and K. Ben Letaief. *Successive Interference Cancellation for multi-user asynchronous DS-SS-CDMA detectors in multi-path fading links*. IEEE Transactions on Communications, March 1998.