

Étude du mécanisme OSSC dans un environnement de transmission non synchrone

Géraud Allard¹ et Khaldoun Al Agha^{1,2}

¹*Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique*

Unité de recherche INRIA Rocquencourt

Domaine de Voluceau - B.P.105

78153 Le Chesnay Cedex, FRANCE

Tél. 0139635389; Fax 0139635566

²*Laboratoire de Recherche en Informatique (LRI)*

Bât 490 Université Paris Sud

91405 Orsay Cedex, FRANCE

email: Geraud.Allard@inria.fr; alagha@lri.fr

La diversité des services proposés pour la génération de mobiles UMTS ont justifié la mise en place de techniques de modulation et de multiplexage très différentes de celles présentes dans la deuxième génération de réseaux de mobiles. Cette technique, appelée WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), est basée sur l'allocation de codes et permet de multiplexer les données de chaque utilisateur.

Une alternative à la technique WCDMA, appelée OSSC (One Service-one Scrambling Code), permet de limiter les interférences générées par certains codes. Nous étudions, dans cet article, le comportement de ces deux techniques lorsque les séquences émises ne sont plus synchronisées. Nous présentons notre modèle de simulation ainsi que des résultats permettant d'observer les différences entre la méthode OSSC et celle normalisée pour l'UMTS.

1 Introduction

L'objectif principal des réseaux de mobiles de troisième génération est de proposer, en plus du transport de la voix, de nombreux services comme le transport de données multimédias (vidéo) ou l'acheminement des données informatiques à haut débit (accès à Internet, transfert de fichiers). Un utilisateur doit être capable de transmettre, sur différents canaux, un certain nombre de données issues des divers services disponibles. On voit alors apparaître deux niveaux de multiplexage :

- le niveau inter-services pour un même utilisateur
- le niveau inter-utilisateurs

La technique WCDMA utilisée pour la liaison montante de l'UMTS, réalise ces deux formes de multiplexage en se basant sur l'allocation de deux types de codes [DGNS98, CMO99] : les séquences pseudo-aléatoires et les codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Ces codes possèdent des propriétés de corrélation intéressantes qui permettent à un récepteur, connaissant le code de l'émetteur, de démoduler le signal émis par celui-ci.

Les codes OVSF sont des codes orthogonaux ce qui signifie que deux codes OVSF distincts synchronisés ont une corrélation nulle. Les séquences pseudo-aléatoires possèdent également des propriétés de corrélation intéressantes bien qu'elles ne soient pas orthogonales.

Une alternative à la technique WCDMA, appelée OSSC [AMA01], permet de limiter les interférences, générées par les séquences non-orthogonales, grâce à une allocation différente des codes.

Les propriétés de corrélation, qui sont fondamentales dans un système CDMA, deviennent vulnérables en cas de désynchronisation. Nous allons étudier le comportement de ces deux techniques lorsque les séquences émises peuvent être désynchronisées.

L'article est structuré comme suit. Dans les sections 2 et 3 sont brièvement illustrés les mécanismes d'allocation de codes WCDMA et OSSC respectivement. La section 4 décrit les fonctions de corrélation appliquées aux codes orthogonaux ainsi qu'aux séquences aléatoires. La section 5 clôt l'article par un modèle et des résultats de simulation.

2 La voie montante UMTS

La technique WCDMA, utilisée pour la voie montante de l'UMTS [DGNS98], repose sur l'allocation de deux types de codes :

- les séquences pseudo-aléatoires utilisées pour différencier les utilisateurs
- les codes orthogonaux OVSF utilisés pour différencier les services d'un même utilisateur

La modulation se décompose en deux phases :

- 1^{re} phase : *l'étalement (ou spreading)*. Un code OVSF est alloué à chaque service d'un utilisateur. L'information issue de ce service est étalée de la manière suivante : un 1 binaire est remplacé par le code et un 0 est remplacé par le complément du code. Le facteur d'étalement est ici égal à la longueur du code. Différents débits peuvent être accessibles en modifiant la longueur des codes utilisés. Après la phase d'étalement, les signaux des différents canaux sont additionnés.
- 2^e phase : *le brouillage (ou scrambling)*. Une séquence pseudo-aléatoire de brouillage est allouée à chaque utilisateur d'une même cellule. La suite de chips issue du multiplexage inter-services est multipliée par le code de brouillage avant d'être envoyé sur l'interface radio.

Ce mécanisme est résumé sur la figure 1(a), où $C_{i,j}$ est le code orthogonal utilisé par le j^{e} utilisateur pour le multiplexage du i^{e} service et S_k est la séquence pseudo-aléatoire allouée à l'utilisateur k .

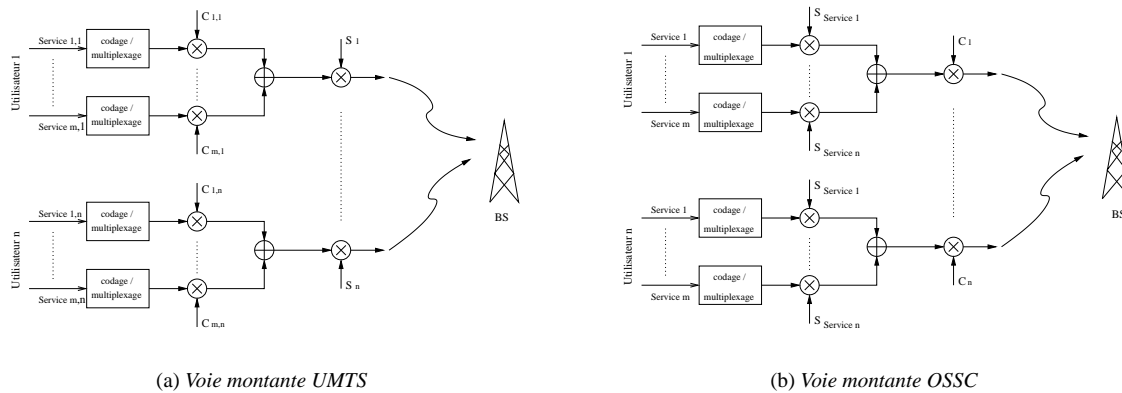


FIG. 1: Les différents types de modulation

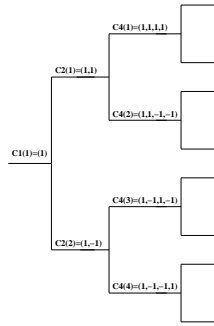
3 La voie montante OSSC

Les séquences aléatoires, contrairement aux codes OVSF, ne sont pas orthogonales. Elles génèrent plus d'interférence et donc plus d'erreurs que les codes orthogonaux, malgré leurs bonnes propriétés de corrélation. Il serait donc judicieux de limiter au maximum le nombre d'allocations de ces séquences.

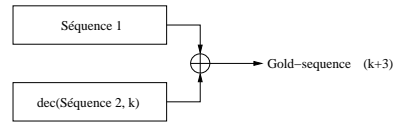
La méthode OSSC s'appuie sur ce constat et effectue une allocation de codes différente de celle utilisée dans WCDMA. Un service est représenté, dans une cellule, par une séquence pseudo-aléatoire unique. Un utilisateur qui utilise ce service réalise le multiplexage inter-services grâce à cette séquence. Les utilisateurs sont ensuite différenciés grâce à des codes OVSF. La figure 1(b) illustre cette méthode, où $S_{Service i}$ est la séquence pseudo-aléatoire utilisée pour le multiplexage du service i et C_j est le code OVSF alloué à l'utilisateur j .

4 Corrélation des codes OVSF et des séquences pseudo-aléatoires

4.1 Calcul des codes et des séquences



(a) Arbres de construction des codes OVSF



(b) Mécanisme de construction des Séquences Gold

FIG. 2: Mécanismes de construction des codes OVSF et des séquences aléatoires

Les codes OVSF sont calculés grâce à l'arbre présenté sur la figure 2(a).

Les séquences aléatoires utilisées dans notre modèle sont des séquences Gold dont la construction est décrite sur la figure 2(b).

Elles sont générées à partir de deux séquences aléatoires maximales S_{max1} et S_{max2} issues de registres à décalages (Maximum Length Sequences [Vit95]). Les séquences Gold [DJ98] G_i sont calculées de la façon suivante :

$$\begin{cases} G_1 = S_{max1} \\ G_2 = S_{max2} \\ G_{k+3} = S_{max1} \oplus dec(S_{max2}, k) \end{cases}$$

où $dec(S_{max2}, k)$ est la séquence S_{max2} décalée de k positions vers la gauche, pour $0 \leq k \leq (\text{longueur de } S_{max2}) - 1$.

4.2 Fonctions de corrélation

Si $S = (S_0, \dots, S_{N-1})$ est une séquence ou un code de longueur N , la fonction d'autocorrélation de S est définie par :

$$Auto_S(\tau) = \sum_{i=0}^{N-1} (-1)^{(S_i + S_{(i+\tau) \bmod N})}$$

Si $T = (T_0, \dots, T_{N-1})$ est une deuxième séquence de longueur N , la fonction d'intercorrrelation de S et T est définie par :

$$Inter_{S,T}(\tau) = \sum_{i=0}^{N-1} (-1)^{(S_i + T_{(i+\tau) \bmod N})}$$

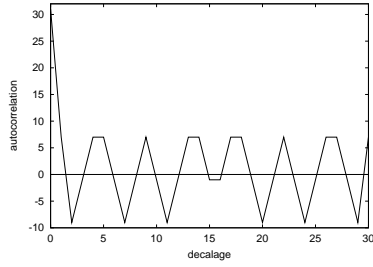
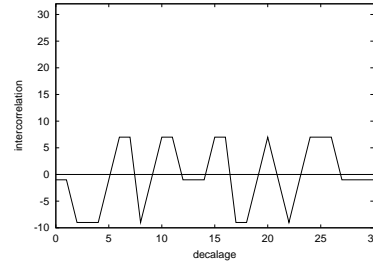
4.3 Corrélation des séquences Gold

La fonction d'autocorrélation d'une séquence Gold atteint son maximum lorsque le décalage est nul ($\tau = 0$). La valeur est alors égale à la longueur de la séquence. Lorsque le décalage est non nul, la fonction varie entre trois valeurs relativement proches de 0 par rapport à N .

Pour la figure 3(a), on prend :

$$G_1 = (-11 - 1 - 1 - 111 - 111 - 1 - 1 - 1 - 111 - 1 - 1111 - 1 - 111 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1)$$

La fonction d'intercorrrelation d'une séquence Gold de longueur $2^n - 1$ évolue également entre trois valeurs

(a) Fonction d'autocorrélation de G_1 (b) Fonction d'intercorrélation de G_1 et G_2 **FIG. 3:** Fonctions de corrélation des séquences Gold

relativement proches de 0. Ces trois valeurs sont $-t(n)$, -1 et $t(n) - 2$, pour

$$t(n) = \begin{cases} 1 + 2^{\frac{n+1}{2}} & \text{si } n \text{ est impair} \\ 1 + 2^{\frac{n+2}{2}} & \text{si } n \text{ est pair} \end{cases}$$

Mais comme ces séquences ne sont pas orthogonales, la fonction n'est pas nulle, même pour un décalage τ égal à 0. Pour la figure 3(b), on prend :

$$G_2 = (11111 - 1 - 1 - 11 - 1 - 1 - 11111 - 1 - 1 - 11 - 11 - 1 - 111 - 1 - 1 - 111).$$

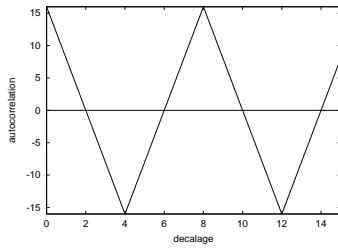
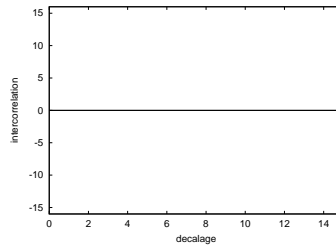
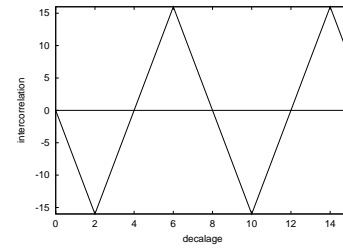
On peut faire deux remarques sur ces fonctions de corrélation :

- les séquences Gold sont, en cas de désynchronisation, *toujours* des sources d'interférences,
- les valeurs des fonctions de corrélation, en cas de désynchronisation, ne sont pas nulles mais restent relativement distantes du pic observé lorsque les séquences sont parfaitement synchronisées.

4.4 Corrélation des codes OVFS

La fonction d'autocorrélation d'un code OVFS, de longueur N , atteint la valeur N lorsque le décalage est nul. Lorsque le décalage est non nul, la fonction prend des valeurs comprises entre $+N$ et $-N$, avec de grandes variations en fonction du décalage τ .

Pour la figure 4(a), $C_1 = (1111 - 1 - 1 - 1 - 11111 - 1 - 1 - 1 - 1)$.

(a) Fonction d'autocorrélation de C_1 (b) Fonction d'intercorrélation de C_1 et C_2 (c) Fonction d'intercorrélation de C_1 et C_3 **FIG. 4:** Fonctions de corrélation de codes OVFS

La fonction d'intercorrélation d'un code OVFS est toujours nulle lorsque le décalage est égal à 0. C'est pour cette raison que ces codes sont dits *orthogonaux*. Lorsque le décalage est non nul, la fonction peut rester nulle, comme sur la figure 4(b), ou bien prendre des valeurs entre $+N$ et $-N$, comme sur la figure 4(c). On remarque que, comme la fonction d'autocorrélation, la fonction d'intercorrélation présente de grandes variations en fonction du décalage τ .

Pour la figure 4(b), on prend $C_2 = (1111 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 11111)$.

Pour la figure 4(c), on prend $C_3 = (11 - 1 - 1 - 1 - 1 - 11111 - 1 - 1 - 1 - 111)$.

On peut également faire les deux remarques suivantes :

- la désynchronisation peut faire varier énormément les valeurs de corrélation,
- certains codes conservent leurs propriétés d'orthogonalité même en cas de désynchronisation et quelque soit le décalage.

5 Résultats de simulation

L'idée principale de ce travail est de simuler les mécanismes OSSC et WCDMA dans des environnements non-synchrones. OSSC intervertit l'allocation des codes entre les utilisateurs et les services. Ceci pourrait réduire les performances du protocole lorsque les chips ne sont pas synchronisés. Un environnement non-synchrone permet de tester les fonctionnalités de OSSC en comparaison avec la méthode d'allocation de WCDMA. Plusieurs séquences Gold sont considérées et de fortes désynchronisations sont appliquées aux codes.

5.1 Modèle de simulation

Les deux systèmes que nous avons simulés sont ceux illustrés sur la figure 1(a) et la figure 1(b). Nous cherchons à observer, pour ces deux méthodes, le comportement du taux d'erreurs/bit en fonction de la charge du système et des conditions de désynchronisation. Le taux de désynchronisation représente la probabilité qu'un utilisateur soit désynchronisé. Nous prendrons, en cas de désynchronisation, une valeur aléatoire pour le décalage des chips dont le maximum correspond à environ 10% du facteur d'étalement. Le modèle de simulation est présenté sur la figure 5.

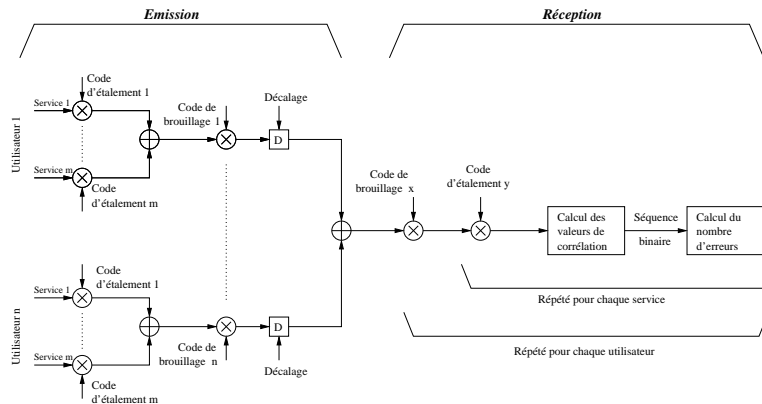


FIG. 5: Le modèle de simulation

5.2 Simulation avec polynômes de degré 5

Les premiers résultats que nous allons exposer sont relatifs à des polynômes générateurs de séquences aléatoires de degré 5. Les polynômes utilisés sont : $P_1(X) = X^5 + X^3 + 1$ et $P_2(X) = X^5 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$.

Les paramètres de simulation pour la figure 6 sont les suivants :

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	0%
Facteur d'étalement	32
Nombre de services	3

On simule, avec ces paramètres, un système dans lequel les séquences sont toutes synchronisées. Dans le cas WCDMA, on alloue autant de séquences Gold qu'il y a d'utilisateurs. Dans le cas OSSC seulement

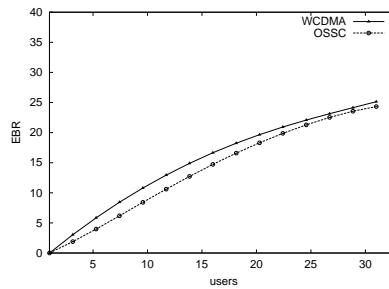


FIG. 6: Polynômes de degré 5 sans désynchronisation

3 séquences Gold sont allouées (une pour chaque service). Nous avons vu que dans le cas synchronisé, les séquences Gold provoquaient, potentiellement, plus d'interférences que les codes OVSF. Ceci explique que le taux d'erreurs/bit soit plus faible pour la méthode OSSC.

Essayons d'introduire de la désynchronisation dans le système. Nous allons considérer les paramètres de simulation suivants :

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	20%
Nombre maximal de chips de décalage	3
Facteur d'étalement	32
Nombre de services	3

Les résultats de cette simulation sont représentés sur la figure 7(a). Nous avons vu que l'orthogonalité des codes OVSF n'était plus vérifiée pour tous les codes en cas de désynchronisation. De plus, les séquences Gold engendrent *toujours* des interférences en cas de désynchronisation car elles ne sont pas orthogonales. On remarque sur la figure 7(b) que le taux d'erreurs augmente avec la désynchronisation mais que les interférences engendrées par les codes OVSF sont moins importantes que celles dues aux séquences Gold. OSSC présente de meilleures performances jusqu'à 15 utilisateurs (15 Séquences Gold / 3 OVSF pour WCDMA et 15 OVSF / 3 Séquences Gold pour OSSC). Lorsque le système est peu chargé, la désynchronisation est atténuée grâce aux Gold Sequence dans le cas d'OSSC. Lorsque le nombre d'utilisateurs augmente, les interférences générées par les deux méthodes deviennent assez similaires.

Nous allons maintenant augmenter le taux de désynchronisation et utiliser les paramètres suivants :

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	40%
Nombre maximal de chips de décalage	3
Facteur d'étalement	32
Nombre de services	3

Nous pouvons faire la même remarque que précédemment en notant que le décalage maximal reste faible et que les interférences dues au grand nombre de séquences Gold allouées sont dominantes.

5.3 Simulation avec des polynômes de degré 7

Les polynômes utilisés sont $Q_1(X) = X^7 + X^3 + 1$ et $Q_2(X) = X^7 + X^3 + X^2 + X^1 + 1$.

Dans le cas d'une désynchronisation nulle ou faible des séquences, les analyses précédentes s'appliquent aux simulations utilisant des polynômes de longueur 7. Les paramètres suivants sont utilisés pour simuler une synchronisation parfaite :

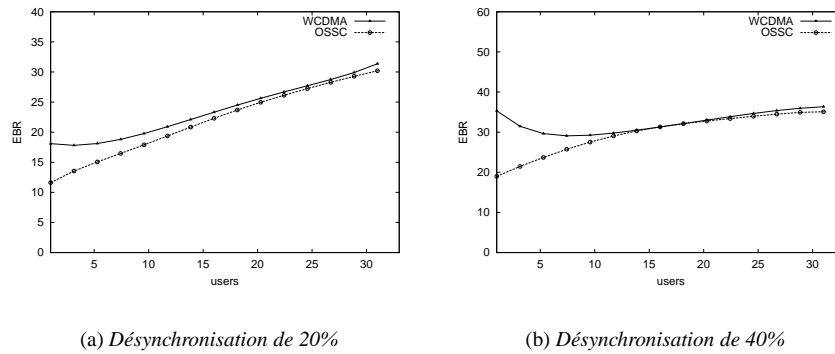


FIG. 7: Polynômes de degré 5 avec désynchronisation

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	0%
Facteur d'étalement	128
Nombre de services	3

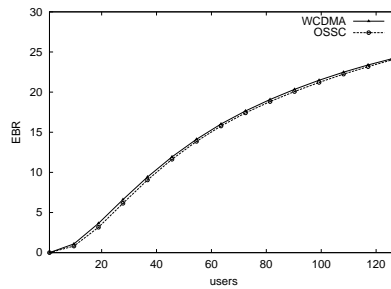


FIG. 8: Polynômes de degré 7 sans désynchronisation

Les paramètres suivants sont utilisés pour une désynchronisation de 20% :

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	20%
Nombre maximal de chips de décalage	10
Facteur d'étalement	128
Nombre de services	3

Nous pouvons faire la même remarque que précédemment : le taux de désynchronisation n'étant pas très élevé, OSSC présente de meilleurs résultats lorsque le système est peu chargé, puis les deux méthodes tendent vers des valeurs d'interférences identiques.

Regardons maintenant le cas où les séquences sont désynchronisées à 40% avec un décalage maximal de 10 chips.

Paramètres	Valeurs
Longueur des séquences d'information	70 bits par service
Taux de désynchronisation	40%
Nombre maximal de chips de décalage	10
Facteur d'étalement	128
Nombre de services	3

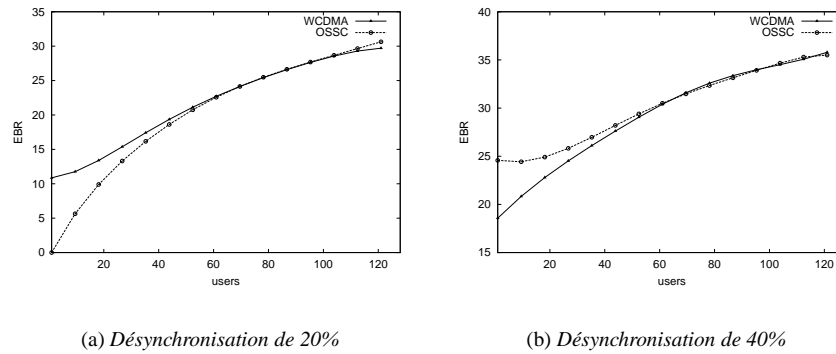


FIG. 9: Polynômes de degré 7 avec désynchronisation

Les fonctions de corrélations des codes OVFS peuvent présenter de grandes variations lorsque le nombre de chips de décalage augmente. Au contraire les fonctions de corrélation des séquences Gold varient dans des intervalles plus réduits. Lorsque le nombre d'utilisateurs est faible, ce phénomène est prédominant par rapport aux interférences générées par les séquences Gold. Ceci explique que la méthode WCDMA engendre un taux d'erreurs/bit plus faible lorsque le système est peu chargé. Lorsque la charge du système augmente, les interférences dues aux séquences Gold deviennent, à nouveau, dominantes.

6 Conclusion

Nous avons étudié, dans cet article, les effets de la désynchronisation sur les méthodes WCDMA et OSSC. Nous avons mis en évidence les meilleurs résultats de la méthode OSSC en terme de taux d'erreurs/bit, par rapport à la méthode WCDMA, dans des contextes de désynchronisation très différents.

Références

- [AMA01] Thamer Al-Meshhadany and Khaldoun Al Agha. OSSC : A new scheme for code allocation in WCDMA. In *IEEE PIMRC2001*, San Diego, USA, sep.-oct. 2001.
- [CMO99] Prodip Cnaudhury, Werner Mohr, and Seizo Once. The 3GPP proposal for IMT-2000. *IEEE Communication Magazine*, pages 72–81, Dec. 1999.
- [DGNS98] Erik Dahlman, Björn Gudmundson, Mats Nilsson, and Johan Sköld. UMTS/IMT-2000 based on Wideband CDMA. *IEEE Communication Magazine*, 36(9) :70–80, Sep. 1998.
- [DJ98] Esmael H. Dinan and Bijan Jabbari. Spreading codes for direct sequence CDMA and Wideband CDMA cellular networks. *IEEE Commiunication magazine*, 9 :48–54, September 1998.
- [HT01] Harri Holma and Antti Toskala. *WCDMA for UMTS : Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. Wiley, revised edition, March 2001.
- [Lee95] William C. Y. Lee. *Mobile Cellular Telecommunications. Analog And Digital Systems*. McGraw-Hill, second edition, 1995.
- [Mee99] J. Meel. Spread spectrum introduction. Technical report, De Nayer Instituut, 1999.
- [Vit95] Andrew Viterbi. *CDMA : Principles of Spread Spectrum Communications*. Addison-Wesley, 1995.
- [WG199] TSG RAN WG1. Spreading and modulation (FDD). Technical Report TS 25.213, 3GPP, december 1999.