

Chapitre II : Exemples de nouveaux codes avec niveau d'interférence standard (égal à la référence GPS)

Dans ce chapitre, on propose de nouveaux codes qui peuvent améliorer le fonctionnement de notre système selon les points précédemment exposés.

I. Exemples de codes avec faibles valeurs d'interférences.

Toute la famille de codes générés par les deux séquences maximales G1 et G2 ont les mêmes valeurs d'interférence que celles obtenues entre deux codes GPS. Les séquences G1 et G2 font aussi partie de la même famille. Il est donc possible d'utiliser l'un de ces codes pour le positionnement indoor à la place des codes GPS. Ceci ne réduit guère les valeurs des pics d'intercorrélation avec les signaux GNSS mais garantit le même seuil d'interférence.

Si on veut émettre un signal similaire à celui de Glonass (en nombre de chips, débit et fréquence porteuse), il est nécessaire de chercher à mesurer les interférences possibles avec la séquence maximale de Glonass. Selon la théorie des codes, il est possible de créer des séquences maximales par décimation de cette séquence de Glonass avec des propriétés d'intercorrélation intéressantes. On commence alors par regarder tous les cas possibles regroupés dans la Tableau II-1. Puis, on calcule les valeurs d'intercorrélation pour chaque cas.

Tableau II-1 : L'exemple du cas $m=9$ correspondant à la séquence maximale de Glonass

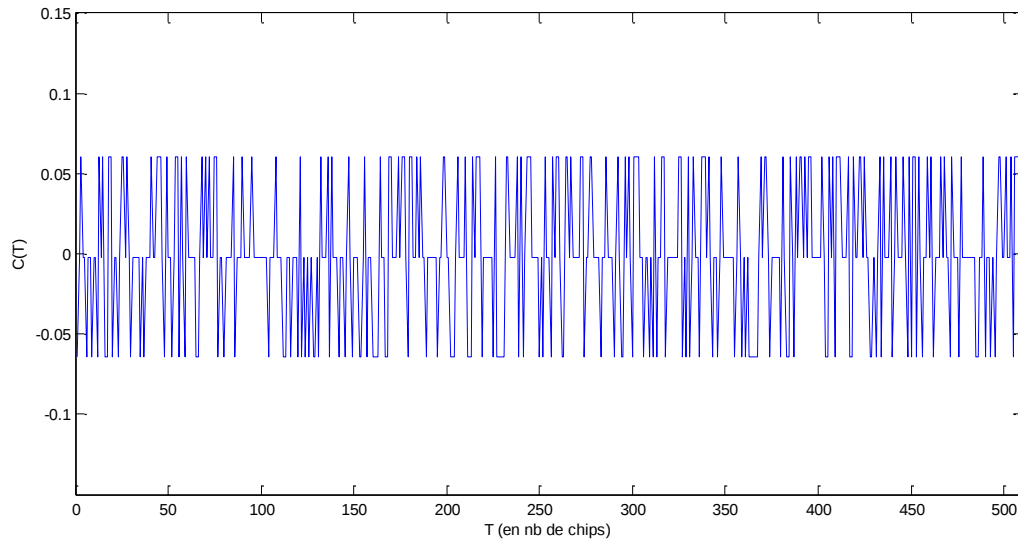
e	d	pgcd(d,n)	h=pgcd(e,m)	2*e	g=pgcd(2*e,m)	r	s
1	3	1	1	2	1	9	4
2	5	1	1	4	1	9	4
3	9	1	3	6	3	7	3
4	17	1	1	8	1	9	4
5	33	1	1	10	1	9	4
6	65	1	3	12	3	7	3
7	129	1	1	14	1	9	4
8	257	1	1	16	1	9	4

D'après les calculs présentés dans le Tableau II-1, deux cas de fonctions d'intercorrélations sont possibles selon la valeur de $s (= \frac{m-g}{2}, g = \text{pgcd}(m, 2e))$:

$s=4$ pour les cas où $e \in \{1, 2, 4, 5, 7, 8\}$ et on obtient alors les valeurs de $c(\tau)$ suivantes associées chacune à la valeur de fréquence f . L'allure de la fonction d'intercorrélation est présentée dans la Figure II-1.

Tableau II-2 : valeur d'intercorrélation et fréquence d'apparition pour $e \in \{1, 2, 4, 5, 7, 8\}$

$c(\tau)$	f	$c(\tau)/511$
-1	255	-0,00195695
31	136	0,06066536
-33	120	-0,06457926

**Figure II-1 : Fonction d'intercorrélation entre la séquence de Glonass et celle décimée à $d=2^1+1$**

$s=3$ pour les cas où $e \in \{3,6\}$ et on a le tableau suivant des valeurs de $c(\tau)$ et la forme des pics d'intercorrélation tracés dans la Figure II-2.

Tableau II-3 : valeur d'intercorrélation et fréquence d'apparition pour $e \in \{3,6\}$

$c(\tau)$	f	$c(\tau)/511$
-1	447	-0,00195695
63	36	0,12328767
-65	28	-0,12720157

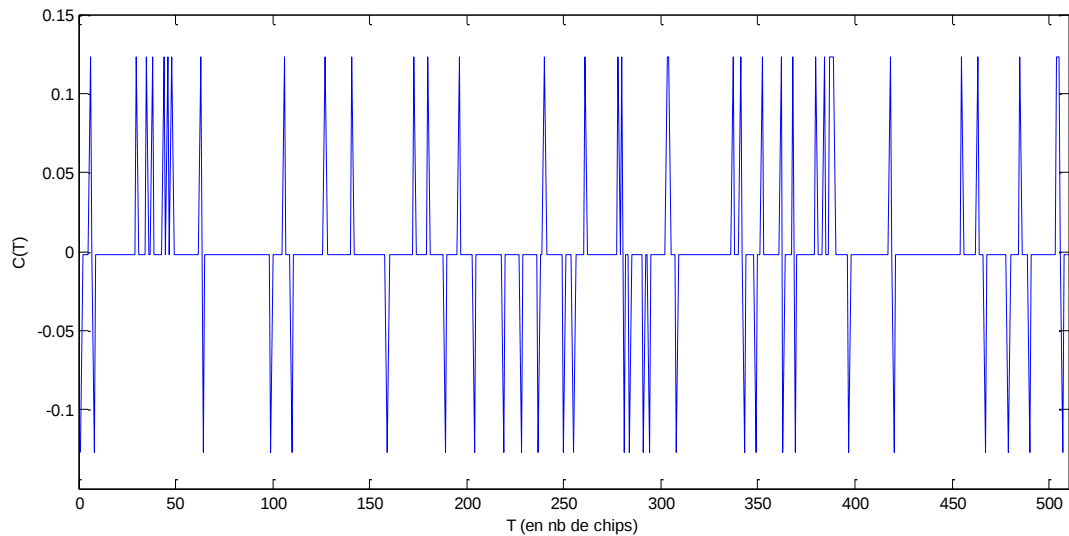


Figure II-2 : Fonction d'intercorrélation entre la séquence de Glonass et la séquence décimée à $d=2^3+1$

Quand on compare les fonctions d'intercorrélation, il est clair que la première sous famille correspond plus à nos attentes puisque les valeurs d'intercorrélation sont faibles et presque égales (entre -0.064 et 0.060) à celles du GPS. On en déduit que les séquences maximales générées par décimation de la séquence de Glonass d'un facteur $d \in \{3, 5, 17, 33, 129, 257\}$ respectent le seuil d'interférence et peuvent donc être utilisées pour l'indoor. En réalité les séquences générées par décimation d'un $d \in \{33, 129, 257\}$ font partie de la classe d'équivalence (même valeurs d'intercorrélation avec la séquence Glonass) d'une des séquences générées par $d \in \{3, 5, 17\}$. On propose alors les trois premières séquences maximales (pour $d \in \{3, 5, 17\}$) pour l'utilisation des systèmes à base de répélites. Celles-ci sont idéales pour toutes les exigences de notre système puisqu'elles ont une fonction d'autocorrélation à 2 valeurs uniques (m-séquence idéale pour la DTT), un débit plus faible (511chips/ms) pour la SMICL et un seuil d'interférence (avec les signaux GNSS extérieurs) satisfaisant.

Néanmoins tous les codes proposés jusqu'ici ne sont pas susceptibles de réduire les interférences avec les signaux GNSS des systèmes actuels (par rapport au seuil de référence des codes GPS. Une idée suggère (Avila-Rodriguez et al. 2006) qu'il est possible de diminuer les interférences quand on corréle deux codes de longueurs différentes. On va donc vérifier cette hypothèse en testant différents scenarios. Le premier consiste à émettre un code de 31 chips en intérieur avec un débit égal à celui d'un code GPS émis à l'extérieur. Ce nouveau code résulte de la décimation de la séquence maximale G1 (à 1023 chips) par un facteur $d=33$. Pour calculer la fonction d'intercorrélation, on considère que le récepteur est installé à

l'extérieur et qu'il acquière 1ms de code ainsi qu'un code GPS avec 33 répliques du nouveau code. Les valeurs d'intercorrélation ainsi calculées correspondent à la perturbation induite sur un récepteur GPS à l'extérieur par un répéteur indoor émettant le code à 31 chips. Dans la Figure II-3, on représente le résultat de cette corrélation comparé à la corrélation entre deux codes GPS. Il est clair que dans un tel scénario, on gagne au niveau du seuil d'interférence. On peut aussi remarquer que si on reçoit en intérieur le signal GPS, le pic principal de notre code à 31 chips peut être complètement masqué par les pics d'intercorrélation (puisque leurs valeurs seront multipliées par un facteur 33). Ceci n'est possible que dans le cas où la puissance du signal GPS reçu en intérieur est proche de celle émise par le répéteur. Il est clair qu'en pratique cette situation est peu probable.

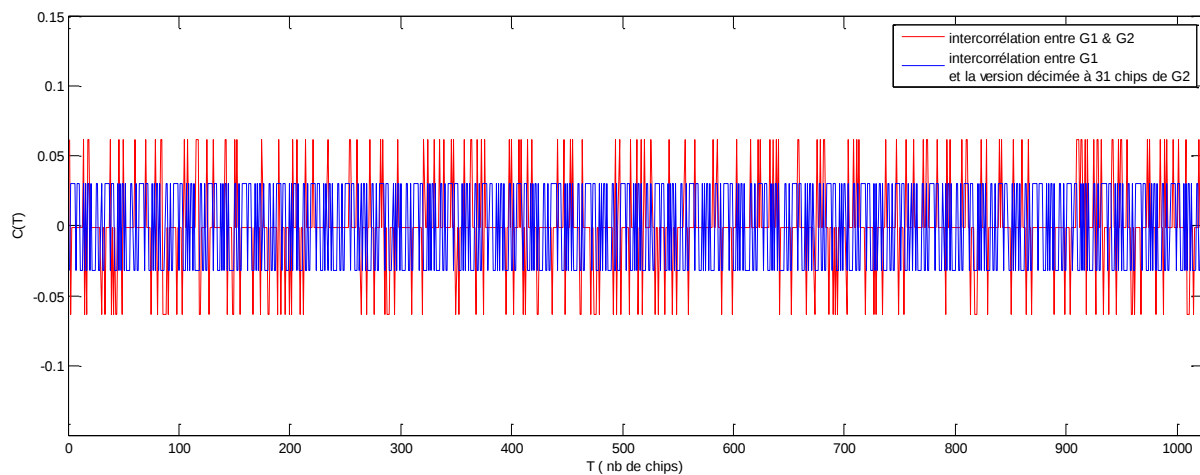


Figure II-3 : Comparaison de la fonction d'intercorrélation entre les deux séquences maximales G1 et G2 et celle entre G1 et le code à 31 chips.

Dans la pratique ce code à 31 chips doit vérifier les mêmes propriétés d'interférence avec les 32 codes GPS émis par les satellites. Hélas les valeurs d'intercorrélation ainsi calculées sont proches de celles obtenues entre deux codes GPS. Et donc aucune amélioration n'est apportée de point de vue intercorrélation. Cependant, ce code représente une solution à une longueur chip plus faible adaptée à la SMICL.

Le deuxième scénario à tester est celui d'un code plus long émis en intérieur avec le même débit chips. L'idée est de générer une séquence maximale à $2^{18}-1$ chips et de la corréler avec la séquence à 511 chips obtenue par décimation de la première par un facteur $d=513$. L'objectif de ce scénario est de simuler l'utilisation d'un code à $2^{18}-1$ en indoor sur la bande Glonass. Dans ce cas, il peut interférer avec le code Glonass à 511 Chips. Sauf que la difficulté est de trouver le code plus long dont la décimation donne le code Glonass. On a donc préféré poser le problème à l'envers. La fonction d'intercorrélation calculée pour ce

scénario est celle entre le code à 511 chips avec les bouts de code de même longueur extraits du code à $2^{18}-1$ chips. Ces valeurs d'intercorrélation sont le résultat d'une simulation du fonctionnement d'un récepteur Glonass à l'extérieur recevant le code à $2^{18}-1$ chips de l'intérieur. Les résultats des valeurs d'intercorrélation dans une telle situation dépassent largement les seuils d'interférence comme le montre la Figure II-4.

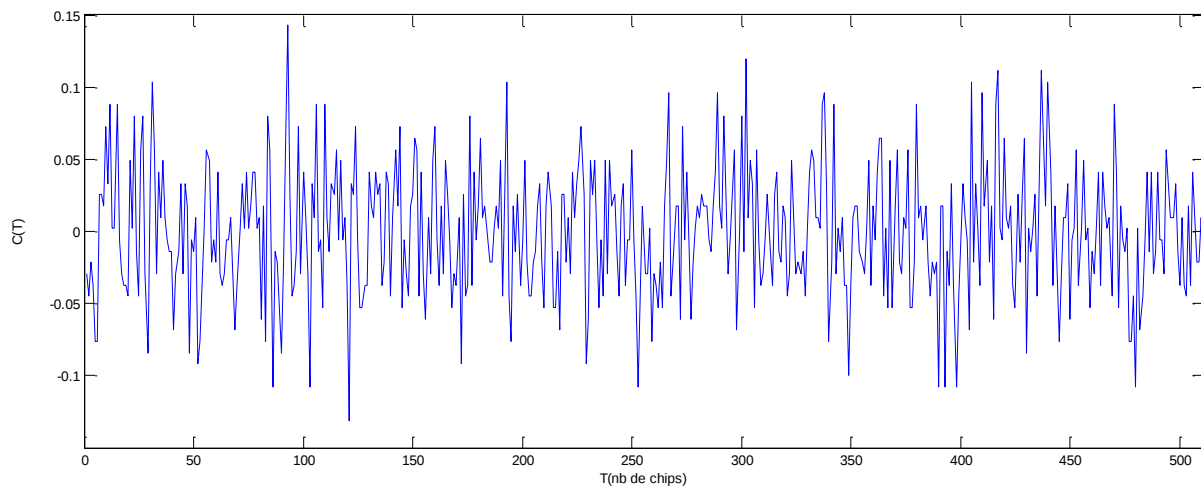


Figure II-4 : Fonction d'intercorrélation pour le scénario du code plus long en intérieur

II. Exemple de code à faible débit pour la SMICL (Short Multipath Insensitive Code Loop)

Pour profiter des points forts de la SMICL, il est préférable de choisir un code avec un faible débit. Dans ce cas le temps chip est plus long. Alors le pourcentage des trajets indirects dont la longueur est inférieure à 0.5 chip parmi ceux qui existent est plus élevé. Par conséquent, la SMICL est plus performante puisque le pourcentage des trajets indirects auxquels elle est sensible (de longueur supérieure à 0.5 chip) devient moins important. En effet quand on utilise l'un des codes GPS à 1.023 chips/seconde, ce ne sont que les trajets indirects de longueur inférieure à 146.5m dont l'effet va être atténué par la SMICL. Alors si on choisit d'émettre un code de type Glonass à un débit de 511chips par milliseconde, la gamme des trajets indirects en question sera plus large. Celle-ci contiendra tous les trajets dont la longueur est inférieure à 293m.

Il est donc possible d'améliorer les performances de la SMICL dans notre système de localisation indoor en émettant sur la bande L1 de Glonass (de 1591.0625 MHz à 1609.3125 MHz) un code à 511 chips. Dans le paragraphe précédent, on a présenté les exemples de codes similaires à celui de Glonass et dont les propriétés d'interférence avec celui-ci sont satisfaisantes.

III. Nouveau code pour la DTT (Double Transmission Technique)

Pour améliorer les performances de la DTT, il nous faut un code dont la fonction d'autocorrélation ne présente pas de pics secondaires qui peuvent perturber le signal de la réplique décalée. Une séquence maximale satisfait parfaitement cette propriété. Il suffit alors de remplacer le code de GPS transmis par les répélites par la séquence maximale G1 ou G2. Ces deux séquences répondent aussi, comme on vient de le voir dans le paragraphe précédent, à la propriété d'interférence recherchée. En effet les valeurs d'intercorrélation de l'une d'entre elles avec l'un des 36 codes GPS sont égales à celles obtenues pour deux codes GPS.

Donc si on choisit d'émettre en indoor un signal sur la bande de fréquence L1 (à une porteuse de 1.57542 GHz), le code idéal pour profiter des avantages de la DTT est celui de la séquence G1 ou G2.

IV. Conclusion

En résumé, il y a d'autres codes tels que les deux séquences maximales G1, G2 et leur famille de codes de Gold (pour la bande GPS) ou les séquences maximales décimées à partir de celle de Glonass qui peuvent être utilisées en indoor à la place d'un code GPS. Tous ces codes permettent de garantir un seuil maximal d'interférence avec les codes GNSS reçus de l'extérieur égal à celui (de référence) entre deux codes GPS. Pour faire baisser ce niveau d'interférence, l'idée d'émettre un code (au même débit) plus long ou plus court en intérieur a été testée par simulation sur Matlab. Les résultats obtenus montrent que ces codes, dont certains permettent effectivement d'avoir un seuil d'interférence plus bas dans certains cas (avec les codes dont ils sont issus par décimation), n'apportent pas d'amélioration en terme d'interférence pour la totalité des codes des satellitaires.

Dans le but de profiter des avantages de la SMICL et de la DTT, on peut utiliser la séquence maximale à 511 chips déduite par décimation de celle de Glonass. Celle-ci répond parfaitement à toutes les exigences de notre système. Cette solution demeure tout de même moins satisfaisante que la réservation d'un canal dédié à l'indoor. En effet, selon l'ICD Glonass, les interférences entre canaux sont limitée à -48dBm tandis que les intercorrélations entre la nouvelle séquence maximale et celle de Glonass émises sur un seul canal s'élève à -24 dB. La solution de cette nouvelle séquence maximale reste moins performante en terme de niveau d'interférence comparée aux interférences avec Glonass.