

Signaux UWB impulsionnels

Patricia Martigne*, Benoît Miscopein**, Jean Schwoerer***.

France Telecom Recherche & Développement – 28 Chemin du vieux chêne 38243 Meylan

* patricia.martigne@francetelecom.com

** benoit.miscopein@francetelecom.com

*** jean.schwoerer@francetelecom.com

Résumé

Utilisée depuis les années 60 pour des applications militaires, la technologie "UWB" (Ultra Large Bande) fut autorisée en 2002 par la FCC (organisme de réglementation Américain) pour les applications commerciales. En particulier l'UWB impulsif, dont la technique s'apparente fortement à celle utilisée par les radars militaires, est très prometteuse en termes de performances pour des applications de communication bas débit dans des environnements sévères au niveau de la propagation. Ce type d'applications peut laisser envisager l'utilisation de l'UWB pour assurer localement une couverture radio dans des endroits non couverts par des technologies plus classiques (à bandes étroites), dans un contexte de terminaux cognitifs par exemple. Ce papier décrit les principaux aspects techniques de l'UWB impulsif, avec un accent mis sur les techniques de réception.

Mots clés : UWB, impulsif, UWB-IR.

Introduction

L'UWB impulsif ("UWB-IR" pour Ultra WideBand – Impulse Radio) s'inspire de la technique utilisée par les radars militaires des années 60, qui consiste à émettre des impulsions très brèves en durée (Fig. 1).

Cette résolution temporelle présente deux types d'avantages :

- la transformée de Fourier d'un tel signal résulte en une très grande largeur de bande au niveau spectral, se traduisant par une robustesse du signal dans des environnements contraignants en termes de multi-trajets,
- la finesse temporelle se transpose en résolution spatiale, permettant des applications de localisation très précise (typiquement, précision de quelques dizaines de cm sur des portées de plusieurs dizaines de mètres).

Cet article propose une présentation technique générale de cette technologie "UWB impulsif" aux performances si prometteuses.

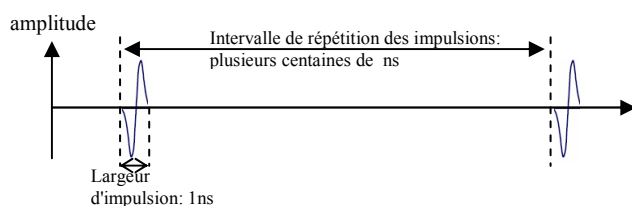


Figure 1. Ordres de grandeur temporels d'un signal UWB impulsif

1. Signal UWB impulsif en émission

L'idée de transmettre des informations numériques par le biais d'impulsions très brèves fut présentée pour la première fois dans les années 90 [1].

L'attrait de l'UWB impulsif réside dans le fait que le signal peut être transmis directement en bande de base, c'est-à-dire qu'aucune transposition en une fréquence intermédiaire n'est nécessaire ni aucun traitement de synchronisation de porteuse. Un exemple d'architecture d'émetteur UWB impulsif, tel que proposé dans [2], se résume à un schéma simple (Fig. 2).

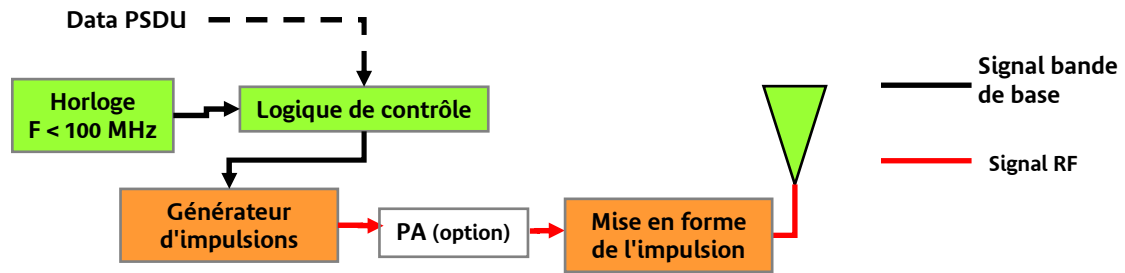


Figure 2. Exemple d'émetteur UWB impulsionnel

Les modulations utilisées pour la transmission du signal dans les airs sont typiquement l'OOK (On-Off Keying) ou le PPM (Pulse Position Modulation), éventuellement assorties d'un codage par TH (Time Hopping ou saut temporel) parfaitement décrit dans [3].

La modulation BPSK (Binary Phase Shift Keying) est aussi souvent mentionnée, mais elle impose un type de réception adapté qui puisse détecter et utiliser la phase du signal. A l'opposé, les modulations PPM et OOK ne reposent que sur une information sommaire d'amplitude qui se réduit à la présence ou l'absence d'une impulsion à un instant donné.

Modulation OOK :

La modulation OOK consiste à n'émettre une impulsion que pour un '1'; les '0' se traduisent par l'absence d'impulsion. Cette modulation est intéressante pour sa simplicité intrinsèque, se traduisant par une faible consommation d'énergie.

Modulation PPM :

La position de l'impulsion par rapport aux instants de référence fournit l'indication de la valeur du bit : si l'impulsion est décalée par rapport aux instants de référence, alors il s'agit d'un bit '0', si l'impulsion est émise à l'instant de référence alors il s'agit d'un '1' (Fig. 3).

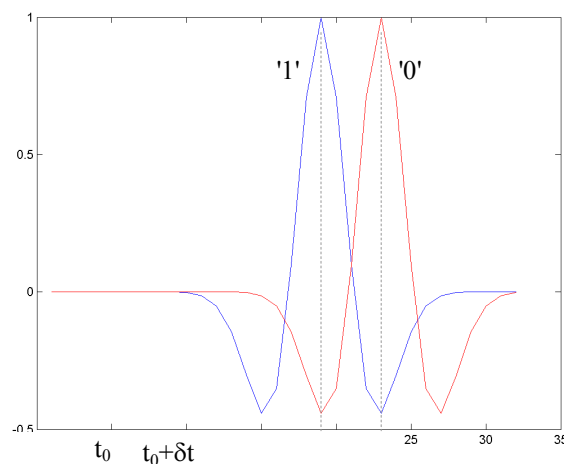


Figure 3. Modulation PPM

Codage TH :

L'émission d'impulsions à intervalles réguliers provoque des pics parasites dans le domaine spectral, pics se créant aux fréquences associées aux périodicités temporelles du signal. Pour lisser le spectre, et ainsi utiliser de façon optimale les gabarits spécifiés par la réglementation, il faut rompre ces périodicités temporelles. Cela peut se faire en réalisant des "sauts temporels" ou "time hopping" : c'est le codage TH.

Un autre intérêt du codage TH est qu'il permet de différencier plusieurs émetteurs, chaque émetteur disposant d'une séquence de codage TH spécifique, connue des récepteurs associés à cet émetteur.

Une illustration de séquence TH est donnée pour exemple en (Fig.4). Cette illustration se base sur un système d'émission tel que décrit en [2] dans lequel un bit de synchro est mappé en une série de 8 éléments '1' (soit '11111111'), un bit d'info est mappé en une série de 8 éléments alternés (soit '10101010'), et utilisant la modulation OOK.

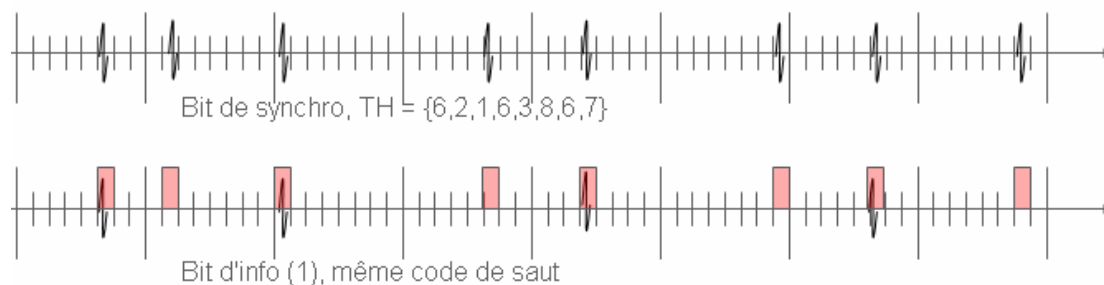


Figure 4. Codage TH sur un bit de synchro, et un bit d'info

2. Réception du signal UWB impulsionnel

Pour la réception, deux approches existent : la réception cohérente et la réception non-cohérente.

Chacune de ces deux approches présente des avantages et des inconvénients et sont ainsi potentiellement adaptées à des domaines d'application différents.

La réception cohérente, pour laquelle le récepteur utilise la reconnaissance de la phase du signal, repose en général sur un schéma de corrélation glissante qui permet d'obtenir des performances quasi optimales mais dont la complexité est un frein à son implémentation dans des équipements contraints en énergie. Une attention particulière est à porter à l'acquisition de la synchronisation qui demande une base de temps très fine pour obtenir la précision requise pour la démodulation cohérente du signal.

Du côté de la réception non cohérente, plusieurs architectures de réception existent, toutes basées sur une détection d'énergie mais comportant des intégrateurs différant par leur constante de temps. Selon cette valeur, les traitements à mettre en place varient et ouvrent la voie à des applications différentes, notamment la localisation par mesure du temps de vol du trajet direct.

Cette technique de réception possède une complexité intrinsèque beaucoup plus faible que la précédente mais ses performances sont également moins bonnes. Les contraintes de ce mode de réception se situent notamment au niveau de la sensibilité du récepteur et de la faisabilité de la détection des impulsions reçues.

2.1. Réception cohérente

Le récepteur optimal pour un signal UWB impulsionnel est un récepteur à corrélation. Le principe consiste à définir une fenêtre d'observation très brève coïncidant avec l'arrivée d'une impulsion. Le calcul du taux de corrélation entre le signal reçu et un motif, construit localement à partir d'une estimation du signal attendu, permet de réaliser la prise de décision. Dans le cas de la radio impulsionnelle, il est crucial que ce motif local soit parfaitement en phase avec le signal reçu pour que l'opération de corrélation donne de bons résultats.

Dans la littérature, la plupart des articles traitant de la réalisation de récepteurs UWB-IR cohérents sont antérieurs à l'ouverture de la bande [3,1 - 10,6] GHz par la FCC. A cette période, la bande considérée était entre 1 et 2 GHz, ce qui autorisait l'utilisation d'impulsions de type doublets gaussiens dont la durée était proche de la nano-seconde. Les contraintes de synchronisation étaient donc relâchées par rapport à celles nécessaires à l'application du même principe de réception avec les impératifs d'aujourd'hui. Pour une réception par corrélation dans le cas de la radio impulsionnelle dans la bande FCC, le motif de corrélation doit être parfaitement synchrone avec le signal reçu. Si l'ondelette impulsionnelle est centrée sur 4 GHz, la demi-période fait 125 ps. Or une erreur de synchronisation d'une demi-période

entre le signal reçu et le motif de corrélation conduirait à multiplier deux signaux en opposition de phase ce qui déboucherait sur un taux de corrélation nul. La contrainte sur la synchronisation est donc très forte, ce qui hypothèque la faisabilité d'un système UWB-IR à très faible coût.

2.2. Réception non cohérente

Cette solution permet de s'affranchir de la phase de corrélation. Le récepteur peut se résumer à la (Fig.5).

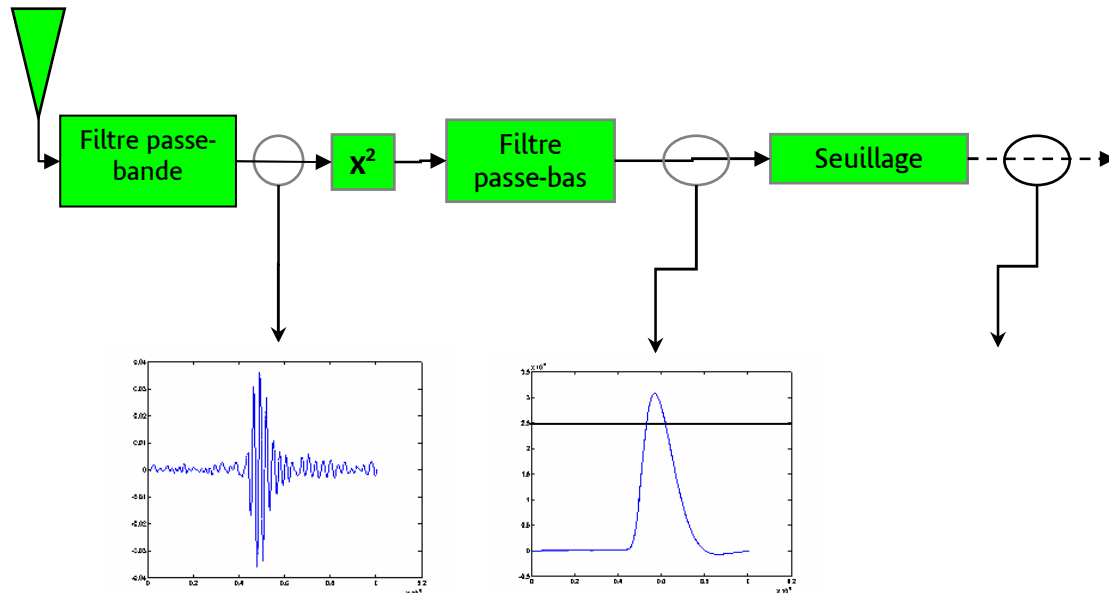


Figure 5. Exemple de récepteur non-cohérent

Deux variantes principales existent, selon l'ordre de grandeur du temps d'intégration choisi pour collecter le signal après la mise au carré, résultant en des applications types différentes.

Intégration sur la réponse impulsionnelle du canal.

Les modèles de canal UWB issus du groupe 802.15.4a de l'IEEE [4] indiquent que les réponses impulsionnelles peuvent s'étaler sur 150-200 ns pour la plupart des modèles. Au niveau du récepteur il est donc intéressant d'intégrer le signal reçu sur des durées équivalentes, de façon à récupérer le maximum d'énergie et se placer à des niveaux de rapport signal à bruit suffisamment élevés. Ce type de réception non cohérente apparaît particulièrement adaptée aux applications de communications (par exemple pour des réseaux de capteurs).

Intégration à l'échelle de l'impulsion.

Si, après la mise au carré du signal RF, l'intégration se fait à l'échelle de l'impulsion et non plus du canal, soit sur une durée de l'ordre de quelques nano-secondes, le signal de sortie correspondrait à l'enveloppe de l'ondelette. Le signal obtenu est théoriquement une impulsion en bande de base, d'une durée de l'ordre de celle de l'ondelette.

Dans la réalité, le signal reçu sera affecté des effets conjugués du bruit et du canal. La forme du signal obtenue en sortie de détecteur sera donc beaucoup plus aléatoire. Sur le plan de la complexité, le système doit pouvoir détecter la présence d'une impulsion en bande de base d'une durée de l'ordre de la nano-seconde. Pour une réception multitrajet, il faudra capturer séparément toutes les contributions des différents trajets de propagation puis les recombinaison. Il s'agit donc d'une structure plus complexe que pour la collection d'énergie présentée précédemment. Cependant, l'information importante ici est la présence ou l'absence de l'impulsion et non son amplitude. Il n'est donc pas nécessaire d'avoir un échantillonnage très précis de ce signal de sortie. Malgré cela, cette seconde approche reste globalement d'une

complexité supérieure à la collection d'énergie. En contrepartie, le fait de travailler à l'échelle de chaque trajet individuel permet de profiter au mieux de la grande résolution temporelle d'un signal UWB et est donc particulièrement adapté aux applications de localisation. Cette complexité pourra être limitée en ne conservant du signal que l'information strictement utile. Du fait des modulations usuellement retenues (OOK, PPM), le système n'a besoin, pour retrouver les données transmises, que de pouvoir statuer sur la présence ou l'absence d'une impulsion à un instant précis.

En conséquence, l'information d'amplitude de l'enveloppe peut simplement se résumer à une comparaison avec un seuil défini, la présence d'une impulsion correspondant à un franchissement de ce seuil. Ce n'est pas une conversion numérique/analogique sur un bit, car le seuil de comparaison devra varier pour s'adapter aux différentes situations, au sens du rapport signal-à-bruit, auxquelles le récepteur sera confronté. De plus, la comparaison n'est pas rythmée par un front montant d'horloge. Il s'agit plutôt d'une comparaison permanente, donc asynchrone, pour détecter l'événement "arrivée d'une impulsion". Cet événement provoquera donc un signal, un peu comme une interruption, indiquant à l'unité de traitement que l'évènement "arrivée d'une impulsion" vient de se produire. Si dans notre approche, l'information d'amplitude est peu discriminante, puisque l'on se contente de l'état "absence" ou "présence d'une impulsion", le temps d'arrivée de l'impulsion est une information cruciale. Chaque évènement "arrivée d'impulsion" doit être associé, le plus précisément possible, à une date d'arrivée. Le signal correspondant devient donc un simple vecteur de dates d'arrivée d'impulsion. A partir de ce point, il n'y a plus d'impératif de traitement en "temps réel" puisqu'une fois ces dates d'arrivée enregistrées et mémorisées, le temps physique suivant lequel se déroule le traitement n'est plus lié aux instants où arrivent les impulsions. Ainsi, le signal RF original se trouve transformé en un simple tableau de date d'arrivé d'impulsion, tout en préservant l'intégralité de l'information codée sur ce signal.

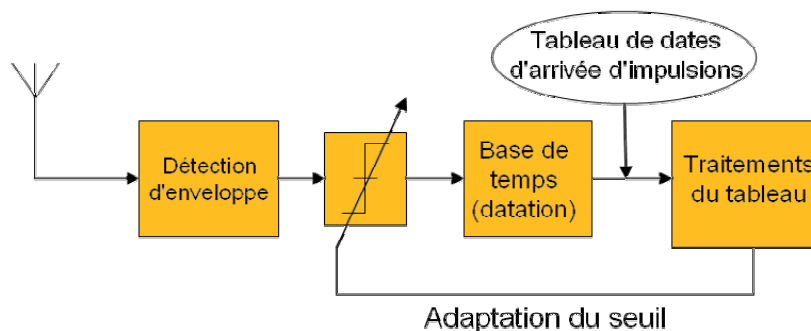


Figure 6. Exemple de récepteur non-cohérent avec intégration à l'échelle de l'impulsion

L'exploitation des dates d'arrivée des impulsions et la connaissance du code de saut, des séquences de chips représentant les symboles et de l'entête de synchronisation permettent au récepteur de séparer les déclenchements créés par le bruit ou d'autres systèmes interférants de ceux liés aux impulsions qui lui sont destinées. L'observation de ce vecteur de dates et du nombre de déclenchements par unité de temps doit aussi permettre, via des critères statistiques, de positionner au mieux le seuil de comparaison.

Cette architecture de récepteur non cohérent permet de préserver les caractéristiques d'un signal UWB, souvent considérées comme les forces de ce système de communication. Il faut cependant noter que les deux approches (cohérent / non-cohérent) ne sont pas exclusives, et que l'on peut tout à fait imaginer un récepteur pouvant fonctionner dans les deux modes suivant le contexte.

Conclusion

L'UWB impulsionnel constitue une solution simple et intéressante, particulièrement adaptée aux applications bas débit. C'est d'ailleurs la technique spécifiée dans le standard IEEE 802.15.4a actuellement en phase d'approbation à l'IEEE. La robustesse intrinsèque des signaux UWB permet d'envisager des compléments de couverture dans les zones trop contraignantes pour la propagation de signaux à bandes étroites (zones de propagation à forts multitrajets). L'implémentation de cette technologie se décline en diverses solutions, dont les principales sont décrites dans la communication.

Références bibliographiques

- [1] P. Withington II and L.W. Fullerton, "An impulse radio communications system," in *Proc. Int. Conf. on Ultra-Wide Band, Short-Pulse Electromagnetics*, Brooklyn, NY, Oct. 1992, pp. 113–120.
- [2] B. Miscopein, P. Martigne, J. Schwoerer, "UWB-IR (Impulse Radio) system proposed for the Low Rate alt-PHY (802.15.4a)", *France Telecom R&D proposal for IEEE 802.15.4a*, document 15-05-0014-002-004a-ft-proposal.zip, January 2005..
- [3] M. Win, R. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. On Comm.*, Vol. 48, No. 4, pp. 679-691, April 2000.
- [4] Andreas F. Molisch, Kannan Balakrishnan, Dajana Cassioli, Chia-Chin Chong, Shahriar Emami, Andrew Fort, Johan Karedal, Juergen Kunisch, Hans Schantz, Ulrich Schuster, Kai Siwiak, "IEEE 802.15.4a channel model - final report", IEEE802.15-04-662rev4