



Conception d'un filtre hyperfréquence analogique pour le traitement de données lidar modulé

Vincent Jézéquel, Fabrice Pellen, Alexandre Manchec, Yann Clavet, Bernard Le Jeune

► To cite this version:

Vincent Jézéquel, Fabrice Pellen, Alexandre Manchec, Yann Clavet, Bernard Le Jeune. Conception d'un filtre hyperfréquence analogique pour le traitement de données lidar modulé. 17èmes Journées Nationales Microondes, 2011, France. pp1-4. hal-00683759

HAL Id: hal-00683759

<https://hal.univ-brest.fr/hal-00683759>

Submitted on 29 Mar 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Conception d'un filtre hyperfréquence analogique pour le traitement de données lidar modulé

Vincent Jézéquel¹, Fabrice Pellen¹, Alexandre Manchec², Yann Clavet², Bernard Le Jeune¹

¹Université Européenne de Bretagne, Université de Bretagne Occidentale, Laboratoire de Spectrométrie et Optique Laser (EA 938), 6 avenue Le Gorgeu C.S. 93837, 29238 Brest Cedex, France ;

²ELLIPTIKA, 6 avenue Le Gorgeu, 29200 Brest France

Résumé

La détection sous-marine par méthode optique LIDAR (Light Detection And Ranging) fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. L'inconvénient majeur de cette technique est le fait que la rétrodiffusion volumique de l'eau de mer domine le signal provenant de la cible. L'utilisation d'un laser impulsif modulé en hyperfréquence, associé à un filtrage passe-bande à la réception, permet d'améliorer considérablement la détection. Le traitement actuel des données consistant en un filtrage numérique différé en temps donne des résultats concluants. En vu d'une intégration du système, le traitement en temps-réel des données devient une nécessité. Cet article porte sur la définition et la conception, au moyen de simulations numériques, des caractéristiques d'un filtre analogique passe-bande hyperfréquence pour le traitement de données issues d'un lidar modulé.

1. Introduction

La détection sous-marine fait actuellement l'objet de nombreuses recherches. Toutefois, un problème important demeure actuellement sans solution satisfaisante. Il s'agit de la détection d'objets flottants ou faiblement immergés (mines flottantes dérivantes ou OFNI (Objets Flottants Non Identifiées)). Les techniques classiques de détection radar ou sonar sont peu efficaces dans de telles situations. En effet, si les ondes acoustiques pénètrent efficacement le milieu marin, elles sont sujettes à une zone aveugle et à des effets d'interférences dans le tirant d'eau des navires, alors que les ondes radar ont une pénétration quasi nulle dans l'eau.

La solution envisagée pour résoudre ce problème de détection consiste à utiliser une technique Lidar (Light Detection And Ranging) reposant sur l'installation d'un laser en tête de mat sur un navire afin de balayer un chenal de navigation à l'avant de ce dernier (**Figure 1**). La distance de visée doit être relativement importante, de l'ordre de 1000 m, afin de permettre le cas échéant une manœuvre d'évitement.

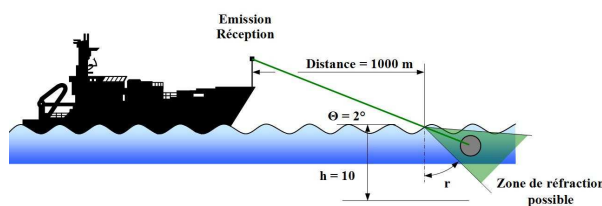


Figure 1. Schéma de détection lidar en incidence rasante

Si la pénétration d'une onde optique dans le milieu marin est relativement bonne sur quelques dizaines de mètres, l'inconvénient majeur de cette technique dans la configuration envisagée est le fait que la rétrodiffusion volumique de l'eau de mer domine le signal provenant de la cible [1,2,3].

Une approche classique pour réduire le bruit de rétrodiffusion volumique de la colonne d'eau consiste en l'utilisation d'un laser impulsif permettant une séparation par temps de vol des photons diffusés par le milieu et des photons diffusés par la cible à détecter (méthode dite de « range-gating »). Il n'en demeure pas moins que la rétrodiffusion volumique de l'eau de mer en se superposant à l'écho de cible, peut être considérée comme un bruit, ce qui limite les performances en terme de détection ou provoque des fausses détections, notamment dans le cas de cibles avec un albédo faible, proches de la surface.

Des travaux antérieurs ont montré que la fonction de transfert de l'eau de mer (**Figure 2**) est de type passe-bas avec une fréquence de coupure de l'ordre de quelques centaines de MHz, tandis que le retour de cible peut être considéré comme indépendant de la fréquence [4]. Ainsi, en modulant temporellement l'impulsion optique à une fréquence très supérieure à la fréquence de coupure de la colonne liquide diffusante, il est possible d'améliorer grandement la détection de la cible [5]. Un prototype de système lidar modulé a été développé et des essais en bassin ont démontré la potentialité de cette technique de détection.

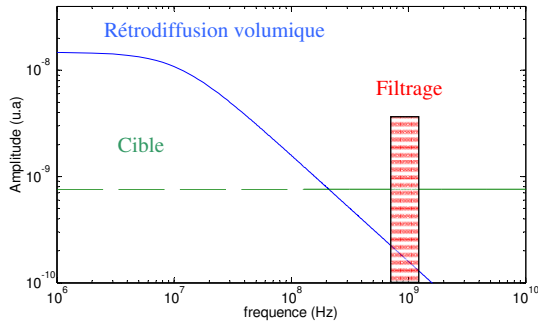


Figure 2. Fonctions de transfert (milieu et cible)

Le système actuel repose sur l'émission d'une impulsion optique brève (quelques nanosecondes) par un laser Nd:YAG pulsé et doublé en fréquence à 532 nm. En effet, l'absorption est minimale dans l'eau de mer pour les longueurs d'onde situées dans le bleu-vert. Cette impulsion possède une enveloppe exponentielle décroissante dont l'intensité est modulée par un signal RF à la fréquence de 1,3 GHz (Figures 3 et 4). Du fait de ce double codage (impulsion courte et modulation RF), le signal utile occupe une bande passante relative de 253 MHz. Lors de la phase de traitement, l'enveloppe hyperfréquence du signal rétrodiffusé est numérisée puis filtrée numériquement en temps différé. L'objet de notre étude est de définir les caractéristiques d'un filtre hyperfréquence analogique passe bande qui devrait permettre à terme une intégration du traitement et donc à la fois une réduction du coût du système (l'échantillonnage de l'enveloppe hyperfréquence n'étant plus nécessaire), une diminution de l'impact du bruit de numérisation, et un traitement en temps réel des données.

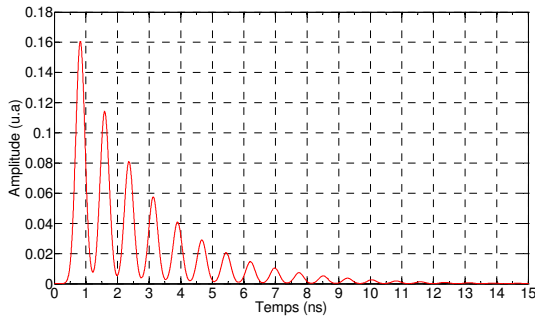


Figure 3. Impulsion optique modulée à 1,3 GHz

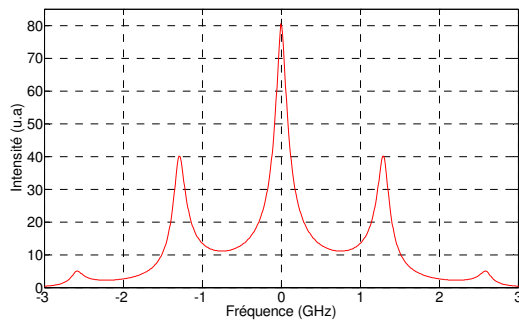


Figure 4. Spectre de l'impulsion lidar modulée en RF à 1,3 GHz

2. Signal rétrodiffusé mesuré

Des expériences de laboratoire ont été menées dans un réservoir d'eau de 5 m de long, simulant le milieu marin [6]. La Figure 5 présente un exemple de signal rétrodiffusé mesuré à l'aide de notre dispositif. Le détecteur utilisé est un photomultiplicateur à galettes de microcanaux HAMAMATSU R07024U (MCP-PMT) possédant un gain en courant de 10^5 , la photocathode ayant une sensibilité de $320 \mu\text{A/Lm}$. D'après les données du constructeur, le temps de montée est de 105 ps et le temps de descente de 120 ps pour une largeur à mi-hauteur de 137 ps. La bande passante à -3 dB est de 3 GHz. La numérisation des signaux est réalisée par un oscilloscope AGILENT Infiniium 54855A de bande passante 6 GHz à -3 dB.

On note la présence de 3 échos principaux sur les signaux rétrodiffusés :

- (a): Réflexion sur l'interface,
- (b): Rétrodiffusion volumique,
- (c): Echo de la cible.

On constate également la présence d'un bruit additif imputable à la chaîne de détection.

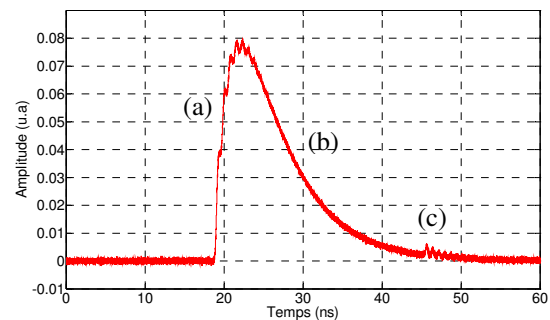


Figure 5. Signal lidar rétrodiffusé mesuré

3. Traitement numérique : filtrage adapté

Le traitement à opérer sur les signaux rétrodiffusés consiste à supprimer la rétrodiffusion volumique au travers d'un filtre passe-bande, afin de révéler un écho de cible éventuel. Le filtrage adapté, *i.e.* l'intercorrélation entre le signal rétrodiffusé enregistré et le signal de référence émis, est le moyen le plus efficace pour réussir cette opération, puisque cela revient à reconnaître et à sélectionner dans le signal rétrodiffusé, uniquement le code de modulation émis présent dans l'écho de cible. Le signal émis étant parfaitement connu, le filtrage adapté est réalisé numériquement (Figure 6), la composante continue du signal de référence ayant été préalablement supprimée.

Cette technique de filtrage adapté a permis d'améliorer grandement le rapport signal-à-bruit de l'écho de cible lors d'expérimentations passées [7].

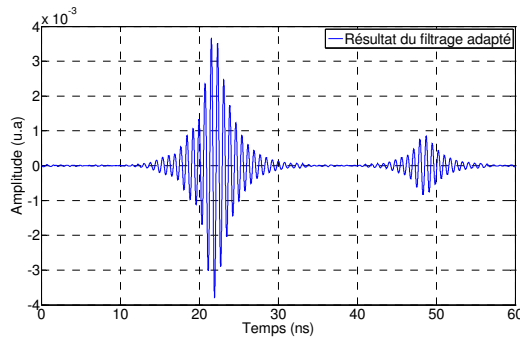


Figure 6. Résultat du filtrage adapté

4. Evolution vers un filtre hyperfréquence

Le traitement numérique employé jusqu'ici dans notre système impose un échantillonnage performant et donc couteux de l'enveloppe hyperfréquence. Par ailleurs, l'échantillonnage du signal RF engendre un bruit numérique qui se superpose au signal utile. Afin de réduire le coût du système et d'augmenter ses performances, nous souhaitons nous affranchir de cette étape en développant un filtre passe bande hyperfréquence analogique directement associé au détecteur optique.

4.a. Cahier des charges du filtre

Le filtre à réaliser doit être le plus proche possible des caractéristiques du signal émis, *i.e.* passe bande de bande passante relative de 253 MHz et de fréquence centrale 1,3 GHz. Les pertes d'insertion doivent être comprises entre 1 et 2 dB dans la bande passante. Une caractéristique importante et non négligeable de ce filtre est la nécessité d'atténuer les remontées parasites au delà de 20 dB jusqu'à 6 GHz. Le filtre doit en effet à la fois supprimer le bruit basse fréquence de rétrodiffusion, mais également le bruit blanc généré dans le photomultiplicateur et ce sur toute la bande passante du dispositif d'acquisition. Nous n'avons pas de contraintes concernant l'encombrement ni la puissance du signal RF puisque nos signaux sont très faibles. L'environnement étant très bruité électromagnétiquement, le filtre devra être placé dans un boîtier faisant office de cage de Faraday. Les connectiques seront de type SMA avec une impédance d'entrée/sortie de 50 Ω .

4.b. Technologie et topologie du filtre hyperfréquence

Le technologie choisie est une technologie de type microruban sur un substrat classique d'alumine ($\epsilon_r = 9,9 \pm 0,3$, $\tan \delta = 3.10^{-4}$, métallisation de 4 μm). En effet, il est préférable de travailler sur ce substrat qui par expérience varie très peu en terme de ϵ_r . De plus, une hauteur de substrat faible permet de prévenir les problèmes de capot qui viendront à posteriori.

La contrainte des remontées parasites sur les spécifications a nécessité l'utilisation d'une topologie de filtre particulière. La solution retenue est une structure modifiée d'un filtre "Dual Behavior Resonator" (DBR) à couplage capacitif semi localisé dans laquelle des cellules passe bande ont été intégrées aux accès [8,9]. En effet, le couplage capacitif entre les résonateurs de ce

filtre DBR permet de contrôler un zéro de transmission de l'harmonique supérieur. Ce dernier est utilisé pour supprimer les remontées parasites dans la bande atténuée supérieure. Ce zéro de transmission associé aux zéros de transmission des cellules passe bande permet une suppression des remontées parasites supérieure à 20 dB jusqu'à au moins 6 GHz. La **figure 7** représente le masque du filtre dans son futur boîtier [8] et la **figure 8** la simulation électromagnétique (EM) du filtre.

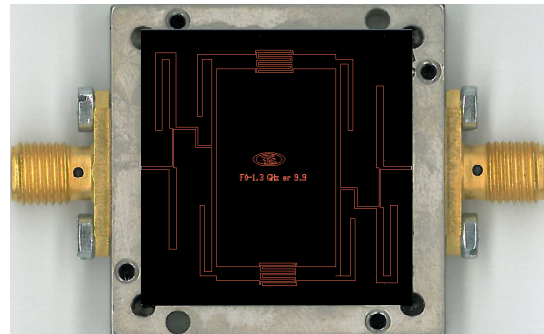


Figure 7. Masque du filtre dans son futur boîtier (Encombrement : 22 x 18.6 mm, fente 80 μm)

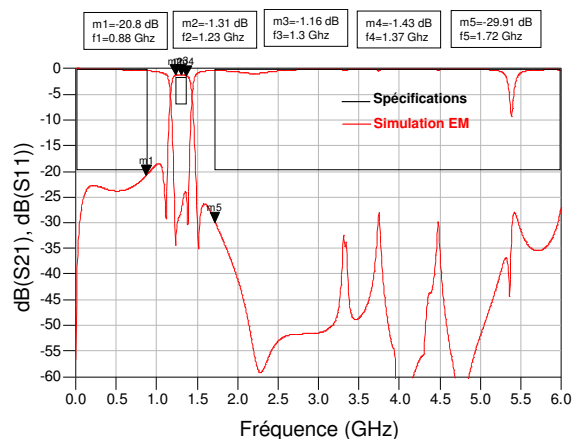


Figure 8. Simulation EM du filtre

4.c. Résultats attendus

La **figure 9** compare le gabarit du filtre adapté avec le filtre DBR retenu et la **figure 10** présente une simulation du filtrage de nos signaux expérimentaux au moyen du filtre DBR.

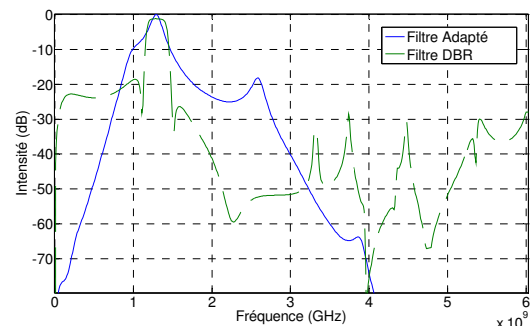


Figure 9. Comparaison du gabarit des filtres

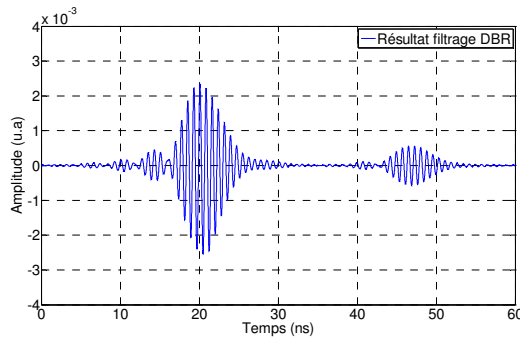


Figure 10. Résultats du filtrage DBR

Bien que les pertes d'insertion du filtre DBR soient plus importantes que celle du filtre adapté numérique, les performances en termes de rapport signal-à-bruit ne sont pas dégradées (**Figures 6 et 10**). Ce résultat s'explique par le fait que le filtre DBR atténue de la même façon l'écho de cible et le bruit additif. Par conséquent, on peut s'attendre à ce que le filtre DBR donne d'aussi bons résultats que le filtre adapté numérique tout en diminuant de manière significative le coût du système. Bien entendu, il s'agit pour le moment de résultats simulés car le filtre est en cours de réalisation. Cependant, les technologies de réalisation sont bien maîtrisées et nous espérons pouvoir présenter les premiers résultats expérimentaux lors de la session orale.

5. Conclusion

La modulation hyperfréquence d'une impulsion lidar est une technique nouvelle et prometteuse pour la détection d'objet en milieu marin. Nous avons développé un prototype de ce système et prouvé son intérêt lors de différents essais. Les techniques de filtrage hyperfréquences sont maintenant bien maîtrisées, ainsi nous envisageons d'intégrer à notre système un filtre analogique adéquat afin d'en réduire le coût et d'augmenter ses performances. La définition des caractéristiques de ce filtre a été obtenue au travers de simulations en prenant comme méthode de référence le filtrage numérique adapté (intercorrélation par le signal de référence). Les simulations de filtrage ont donné des résultats concluants car non-seulement la rétrodiffusion volumique est atténuée mais le traitement permet également de révéler des échos de cibles noyés dans un fort bruit additif. Le filtre est actuellement en cours de réalisation et nous espérons pouvoir présenter les premiers résultats expérimentaux lors de la session orale.

Ce travail a bénéficié du soutien financier de la région Bretagne et de la DGA/GESMA.

6. Bibliographie

- [1] De Dominicis, *et al*, "Improving underwater imaging in an amplitude modulated laser system with radio frequency control technique", JEOS, Rapid Publications 5, 10004, 2010.
- [2] Liang, J. Yang, K. Xia, M. *et al*, "Monte Carlo simulation for modulated pulse bathymetric light

- detecting and ranging systems*", Journal of optics A: Pure and Applied Optics, 415-422, 2006.
- [3] Fan-Yi, L and Jia-Ming Liu, "Chaotic Lidar", IEEE, vol. 10, N°5, 2004.
- [4] Pellen, F. Intes, X. Olivard, P. Guern, Y. Cariou, J. Lotrian, J. "Determination of sea-water frequency response by backscattering transfer function measurement", J. Phys. D: Appl. Phys. 33, 349-354, 2000.
- [5] Mullen, L. J. *et al*, "Application of RADAR Technology to Aerial LIDAR Systems for Enhancement of Shallow Underwater Target Detection", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 43(9), 1995.
- [6] Pellen, F. Olivard, P. Guern, Y. Cariou, J. Lotrian, J. "Radio frequency modulation on optical carrier for target detection enhancement in sea water", SPIE 46th Annual Meeting on Optical Science and Technology, San Diego, 2001.
- [7] Jezequel, V. Pellen, F. Audo, F. Le Jeune, B. "Experiment-based simulations on modulated lidar for shallow underwater target-detection and localization", SPIE Ocean Remote Sensing, Toulouse, 2010.
- [8] Manchec, A. Quendo, C. Favennec, J. F. Rius, E. and Person, C. "Synthesis of Capacitive-Coupled Dual Behavior Resonator (CCDBR) Filters," IEEE Trans. Microwave Theory & Tech, vol. 54, n°6, pp. 2346-2355, Juin 2006.
- [9] Manchec, A. Quendo, C. Rius, E. Person, C. and Favennec, J. F. "Synthesis of Dual Behavior Resonator (DBR) Filters with integrated low-pass structures for spurious responses Suppression," IEEE Microwave Wireless Compo. Lett., vol. 16, n°1, pp. 4-6, Janvier 2006.