

Analyse et modélisation temps-fréquence robuste appliquées à l'interprétation d'images de pièces calcifiées

Ronan FABLET¹, Abdesslam BENZINO², Christian DONCARLI³

¹IFREMER/LASAA
BP 70, 29280 Plouzané, France

²ENIB/RESO
BP 30815, 29280 Plouzané, France

³ECN/IRCCyN
BP 92101 44321 Nantes, France
rfablet@ifremer.fr, benzinou@enib.fr
Christian.Doncarli@irccyn.ec-nantes.fr

Résumé – Nous proposons une technique d'analyse robuste des lois de modulations de signaux biologiques dans le domaine temps-fréquence. Elle est appliquée à l'estimation de la loi de croissance des poissons à partir d'images de pièces calcifiées. Une validation de la méthode est présentée pour une ensemble d'images d'otolithes de plies.

Abstract – We present a robust method for time-frequency model estimation. It involves a robust Leclerc's estimator to ensure robustness w.r.t. noise and interferences present in time-frequency representations. This scheme is applied to fish age and growth analysis from otolith images. This application involves the estimation of the parameters of a priori fish growth models using this robust time-frequency analysis. We present a quantitative experimental validation over a large set of real images of Plaice otoliths.

1 Introduction

L'estimation de l'âge et de la croissance des poissons est un problème central pour de nombreuses applications d'écologie halieutique et de dynamique des populations aquatiques. Elle repose principalement sur l'interprétation de pièces calcifiées, et notamment des otolithes qui sont caractérisées par une succession de marques de croissance claires et sombres (cf. figure 1).

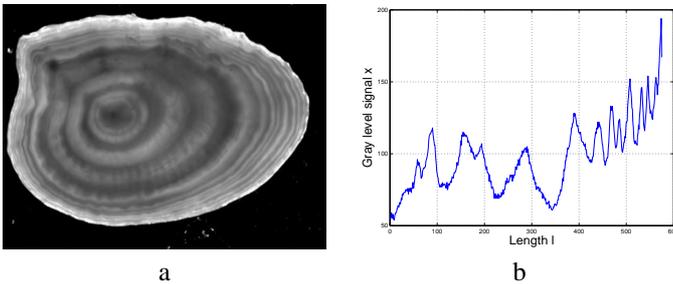


FIG. 1 – Otolithe de plie : a) image de l'otolithe de plie présentant une succession de marques de croissance saisonnières claires et sombres, b) signal 1D du niveau de gris le long d'une radiale entre le noyau et le bord de l'otolithe.

De manière générale, l'estimation de l'âge consiste à compter ces stries, alors que la détermination de la loi de croissance du poisson résulte de l'étude de l'évolution des distances entre stries successives. Des travaux antérieurs sur l'analyse automatique des images de pièces calcifiées [4, 5, 6] démontrent que

la connaissance de la loi de croissance constitue une information a priori importante pour localiser et valider les marques de croissance à extraire des images.

Cet article propose une technique robuste d'estimation de la loi de croissance du poisson à partir de l'analyse temps-fréquence des signaux 1D non-stationnaires extraits sur le grand axe de l'image entre le noyau et le bord de l'otolithe (cf. Fig.1).

2 Modulation de croissance et analyse temps-fréquence

2.1 Modulation de croissance

L'extraction du signal 1D en niveau de gris, tel qu'illustré en figure 1, est réalisée de manière robuste [6]. Afin d'éliminer la tendance, nous appliquons au signal un filtrage passe-bas. Le signal obtenu x fournit une représentation du signal biologique de croissance du poisson qui est périodique de période 1 an. Le signal non-stationnaire x peut donc être interprété comme le résultat d'une modulation en fréquence suivant la loi de croissance du poisson $\Phi(l)$:

$$x(t) = A \sin(2\pi t) \tag{1}$$

$$x(t) = A \sin(2\pi\Phi(l))$$

où t est le temps biologique, et l la distance au noyau sur le grand axe de l'otolithe. Ces deux variables sont liées par la loi de croissance $l = \Phi^{-1}(t)$.

2.2 Représentation temps-fréquence

La non-stationnarité des signaux coinsidérés rend nécessaire l'utilisation de techniques d'analyse temps-fréquence [7], qui permettent de visualiser le contenu fréquentiel d'un signal et leur localisation temporel par le biais d'une représentation bidimensionnelle dans le plan temps-fréquence. Dans cette étude, nous considérons les transformations de la classe de Cohen, et plus particulièrement la représentation de Wigner-Ville. Pour une distance l et une fréquence f , le coefficient $wv(l, f)$ de la représentation de Wigner-Ville du signal x en (l, f) est donné par :

$$wv(l, f) = \int x(l + \tau/2)x^*(l - \tau/2) \exp(-j2\pi f\tau) d\tau \quad (2)$$

Le coefficient $wv(l, f)$ constitue un indicateur de la présence de la fréquence f dans le signal x à la distance d . La figure 2 fournit un exemple de représentation temps-fréquence de Wigner-Ville pour le signal représenté en figure 1.

3 Estimation robuste de la loi de modulation

A partir de la représentation temps-fréquence du signal, l'estimation de la fonction de modulation Φ consiste à déterminer la loi de la fréquence instantanée [1, 3, 7]. Deux catégories d'approches peuvent être envisagées : les approches non-paramétriques basées sur la détection des maxima ou l'évaluation de moments dans la représentation temps-fréquence, et les techniques paramétriques qui se ramène à l'estimation des paramètres de modèles a priori de la loi de modulation. La qualité des représentation temps-fréquence obtenues pour les signaux réels traités rend les approches non-paramétriques inappropriées. De plus, il existe des modèles biologiques décrivant la loi de croissance des poissons $l = \Phi^{-1}(t)$. Nous exploitons donc cette connaissance a priori pour formuler l'estimation de la loi de modulation comme un estimation des paramètres du modèle de croissance. Nous considérons ici plus particulièrement le modèle de Von Bertalanffy [6]. Ce modèle conduit à une loi de modulation logarithmique $t = \Phi(l)$:

$$t = \Phi_{(K, L_\infty)}(l) = -K \ln(L_\infty - l), \quad (3)$$

où K et L_∞ sont les paramètres de la loi de croissance. La fréquence instantané $\phi(l)$ est la dérivé première de la fonction de modulation en croissance : $\phi(l) = d\Phi(l)/dl$. Ceci nous conduit donc à considérer une loi modèle hyperbolique dans le plan temps-fréquence :

$$f = \phi_{(K, L_\infty)}(l) = K/(L_\infty - l) \quad (4)$$

L'estimation des paramètres $\Theta = (K, L_\infty)$ dans le plan temps-fréquence est formulée comme la maximisation de l'espérance conditionnelle $E_\Theta(wv)$ de la représentation temps-fréquence wv du signal traité x conditionnellement à Θ pour un noyau gaussien de variance σ :

$$\begin{aligned} \hat{\Theta} &= \arg \max_{\Theta} E_\Theta(tfr) \\ &= \arg \max_{\Theta} \int wv(l, f) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{[f - \phi(l)]^2}{\sigma^2}\right] dl df \end{aligned} \quad (5)$$

En pratique, nous considérons une représentation discrète dans le plan temps-fréquence (l, f) , tel que $l \in \{0, 1, \dots, L\}$ et $f \in \{0, \Delta f, 2\Delta f, \dots, f_{max}\}$, où Δf est le pas en fréquence et f_{max} la fréquence maximum. L est la longueur de la radiale considérée. L'estimation des paramètres Θ peut être interprétée de manière équivalent comme une minimisation robuste basée sur l'estimateur de Leclerc $\rho(r) = [1 - \exp(-(r/\sigma)^2)]$ [2], relativement au poids wv de la représentation considérée dans le plan temps-fréquence. L'emploi d'un estimateur robuste permet de rejeter les données erronées du processus d'estimation, le paramètre σ contrôlant la sélectivité de l'estimateur.

Cette minimisation robuste est mise en oeuvre comme succession de résolution de problèmes de moindre carrés pondérés itérés. A chaque itération n , étant donné l'estimé courant des paramètres Θ^{n-1} , nous évaluons les poids définis $w^n(l, f) = \psi(f - \phi_{\Theta^{n-1}}(l))$, où ψ est la fonction d'influence associé à l'estimateur robuste ρ . L'estimé Θ^n est alors la solution de minimisation suivante :

$$\hat{\Theta} = \arg \min_{\Theta} \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{f=0}^{f_{max}} w^n(l, f) tfr(l, f) \|f - \phi_{\Theta}(l)\|^2 \quad (6)$$

La loi a priori de la fréquence instantanée ϕ_{Θ} n'étant pas linéaire vis à vis de Θ , nous employons une stratégie incrémentale par linéarisations successives autour de la solution courante. Le paramètre de sélectivité de l'estimateur robuste est initialement fixé à une valeur élevée pour permettre une exploration du domaine temps-fréquence, et décroît ensuite de manière géométrique jusqu'à une valeur minimale. La valeur initiale Θ^0 des paramètres de modulation est donné par une loi de croissance moyenne. La méthode proposée est employée dans cet article pour un loi hyperbolique, mais peut être étendue à tout autre type de loi a priori.

Les paramètres estimés $\hat{\Theta}$ fournissent l'expression de la loi de fréquence instantanée $\phi_{\hat{\Theta}}$, de laquelle est déduite la loi de croissance $l = \Phi_{\hat{\Theta}}^{-1}(t)$.

4 Résultats expérimentaux

Nous avons évalué l'approche proposée sur un ensemble de 50 otolithes de plies appartenant aux classes d'âge 6 à 13. Pour chaque image, un expert a déterminé l'âge et la croissance du poisson, ce qui nous fournit une vérité de terrain.

La figure 2.a présente la transformée de Wigner-Ville du signal extrait de l'otolithe de plie de la figure 1. Sur cette représentation, nous avons superposée l'estimation de la loi de fréquence instantanée suivant par quatre méthodes : deux approches non-paramétriques (NPPBIF basée sur la détection de maxima dans le plan temps-fréquence et NPHIF décrite dans [1]), deux techniques paramétriques (PBPIF basée sur une régression à partir de la loi de fréquence instantanée NPPBIF, et RPIF présentée dans cet article). Comme indiqué précédemment, cette représentation temps-fréquence est trop complexe pour appliquer des techniques non-paramétriques. Ceci explique aussi le meilleur comportement de la technique robuste. La figure 2.b permet de comparer les lois de croissance estimées par les deux approches paramétriques à la loi de croissance théorique. L'estimation fournie par la méthode robuste est nettement plus précise. Nous avons mené une évaluation quantitative sur l'échantillon considéré d'otolithes de plies. La figure

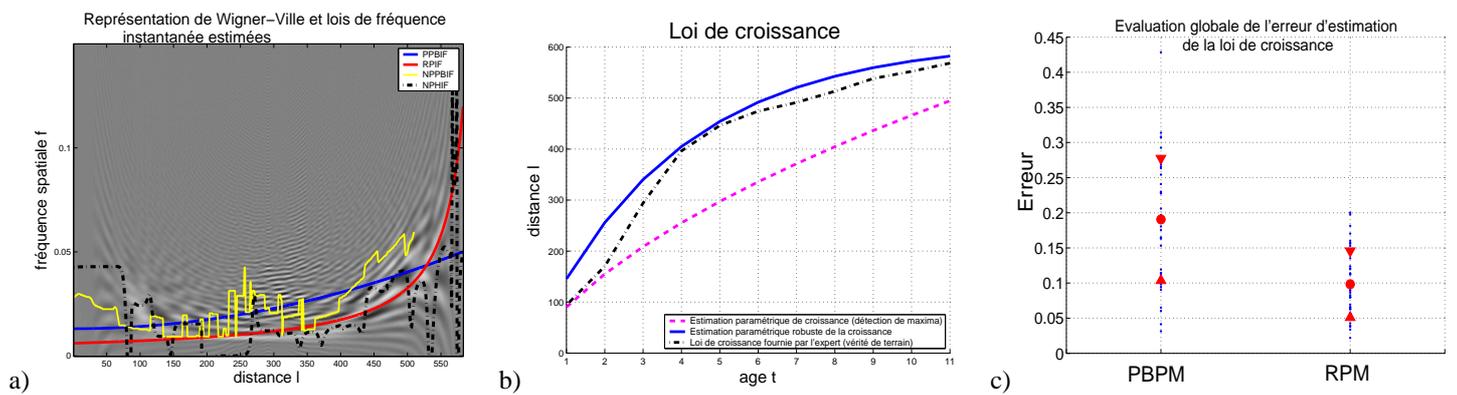


FIG. 2 – Évaluation expérimentale de l’analyse de la loi de croissance à partir d’une analyse temps-fréquence : a) représentation temps-fréquence de Wigner-Ville et lois de fréquence instantanée estimées pour l’otolithe de plie illustrée en figure 1, b) comparaison de la loi de croissance estimée à la vérité de terrain (nous laissons le lecteur se référer au texte pour le détail des méthodes comparées), c) évaluation globale, sur un échantillon de 50 otolithes appartenant aux classes d’âge 6 à 13, de l’estimation de la loi de croissance pour la méthode paramétrique robuste (RPM) décrite dans cet article et une approche paramétrique basée sur la détection des maxima dans le plan temps-fréquence (PBPM) (nous représentons l’erreur moyenne entre la loi de croissance estimée et la vérité de terrain fournie par l’expert).

2.c illustre les résultats obtenus et démontre l’apport résultant de l’emploi d’une analyse temps-fréquence robuste.

Nous avons également évalué l’apport de la connaissance de la loi de croissance pour l’estimation de l’âge à partir de l’extraction des extrema sur la radiale extraite des images entre le noyau et le bord de l’otolithe. Nous avons formulé l’estimation de l’âge comme un problème d’étiquetage markovien des extrema du signal en niveau de gris, où la loi de croissance estimée permet de définir le terme d’a priori. Pour l’échantillon d’otolithes de plies considérées, l’âge estimé est à 85% dans l’intervalle $[-1, +1]$, ce qui constitue un résultat très prometteur et complémentaire des approches 1D ou 2D proposées précédemment [4, 5] pour lesquelles les classes d’âge au-delà de 6 constituent des cas difficiles. Nous envisageons d’étendre cette utilisation de la connaissance a priori de la loi de croissance aux techniques 2D d’extraction des marques de croissance dans les images de pièces calcifiées.

Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants à Auger et al. pour l’utilisation de la boîte à outils Matlab “Time-Frequency toolbox” ([//crtsn.univ-nantes.fr/auger/tftb.html](http://crtsn.univ-nantes.fr/auger/tftb.html)), et souhaitent également remercier J. Le Bihan, directeur du laboratoire RESO à l’Ecole Nationale d’Ingénieurs de Brest pour son soutien.

Références

- [1] R.G. Baraniuk, M.J. Coates and P. Steeghs, “Hybrid linear/quadratic time-frequency attributes,” in *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 49, no. 4, April 2001, pp. 760-766.
- [2] M. Black and A. Rangarajan, “On the unification of line processes, outlier rejection, and robust statistics with applications in early vision,” in *International Journal of Computer Vision Vol. 19, No. 1*, pp. 57-92, July, 1996.
- [3] B. Boashash and P. O’Sheah “Use of cross Wigner-Ville distribution for estimation of instantaneous frequency,” in *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 41, no. 3, March 1993, pp. 1439-1445.

- [4] A. Benzinou, H. Troadec, J. Le Bihan, V. Rodin, H. de Pontual, J. Tisseau, “The locally deformable B-bubble model : an application to growth ring detection on fish otoliths,” in *Proc. of Scand. Conf. on Image Analysis, SCIA’97*, pages 181-187, Lappeenranta (Finland), June, 1997.
- [5] A. Guillaud, A. Benzinou, H. Troadec, V. Rodin, and J. Le Bihan, “Autonomous agents for edge detection and continuity perception on otolith images,” in *Image and Vision Computing*, 20, pp.955-968, 2002.
- [6] F. Lagardère and H. Troadec, “Age estimation in common sole *solea solea* larvae : validation of daily increments and evaluation of a pattern recognition technique,” in *Marine Ecology Progress Series*, 1997, vol. 155, pp. 223–237.
- [7] Patrick Flandrin, *Time-Frequency/Time-Scale analysis*, Academic Press, 1999.
- [8] P. Huber, *Robust Statistics*, John Wiley & Sons, 1981.