HAL
open science

Réallocation du spectrogramme pour la détection de frontières de motifs temps-fréquence

Fabien Millioz, Nadine Martin

To cite this version:

Fabien Millioz, Nadine Martin. Réallocation du spectrogramme pour la détection de frontières de motifs temps-fréquence. GRETSI 2007 - XXIème Colloque francophone de traitement du signal et des images, Sep 2007, Troyes, France. pp. 445-448. hal-00200117

HAL Id: hal-00200117

https://hal.science/hal-00200117v1

Submitted on 20 Dec 2007

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.

Réallocation du spectrogramme pour la détection de frontières de motifs temps-fréquence

Fabien Millioz, Nadine Martin

GIPSA-lab DIS, BP 46 - 961, rue de la Houille Blanche, 38402 Saint Martin d'Hères Cedex
fabien.millioz@gipsa-lab.inpg.fr, nadine.martin@gipsa-lab.inpg.fr

Résumé – Nous présentons dans ce papier une détection de frontière de motifs dans le spectrogramme, basée sur la méthode de réallocation. Le champ de vecteurs de réallocation est utilisé ici uniquement comme source d'information sur le contenu spectral, et non pas pour modifier la représentation temps-fréquence. Cette approche centrée sur les contours permet d'étendre l'utilité de la réallocation aux signaux aléatoires large bande.

Abstract – In this paper, we propose a boundary detection of time-frequency patterns of the spectrogram, based on the reassignment method. The reassignment vector is used here not to modify the time-frequency representation, but only as a source of information about the spectral structure of the signal. This approach focused on the boundaries extends the use of the reassignment principle to wide band signals.

1 Introduction

L'analyse temps-fréquence est dédiée à l'étude des signaux non-stationnaires. Elle permet de décrire l'évolution temporelle du contenu spectral d'un signal. Nous cherchons dans ce papier à déterminer la frontière des motifs temps-fréquence, qui sont définis ici comme des zones connexes du plan temps-fréquence contenant l'énergie du signal. Des détections de contour existent déjà, par exemple [1]. Cependant, ce type de méthode basées sur le gradient de la représentation temps-fréquence ne donnent pas des résultats satisfaisants pour de faibles contrastes.

En se restreignant au cas du spectrogramme pour éviter les interférences de Wigner-Ville et pour pouvoir s'intéresser aux signaux large bande, l'idée est d'utiliser l'information apportée par la méthode de réallocation pour compléter la caractérisation des motifs temps-fréquence [2].

Dans ce papier, nous n'utilisons pas la réallocation en tant que représentation temps-fréquence, mais uniquement comme source d'information sur la structure du signal. Le spectrogramme peut être vu comme la convolution de la distribution de Wigner-Ville avec une fenêtre de lissage, ce qui signifie qu'un motif du spectrogramme occupe une plus grande aire dans le plan temps-fréquence que son équivalent en Wigner-Ville.

Le concept de motif temps-fréquence est difficile à définir. En effet, le support de l'énergie d'un signal dans le spectrogramme est infini, sa détection nécessite par conséquent l'utilisation d'un seuil. Sans chercher à estimer ce seuil, la zone frontière d'un motif temps-fréquence peut être définie comme l'ensemble des points appartenant au motif estimé par le spectrogramme et n'appartenant pas à celui estimé par la distribution de Wigner-Ville.

Cette définition de frontière n'est pas satisfaisante par l'implication d'un seuil d'une part, et par l'utilisation de la distribution de Wigner-Ville d'autre part, qui présente des interférences et qui n'est pas adaptée à tout type de signal. Nous proposons alors une autre définition de frontière basée sur la réallocation.

La réallocation a été proposée à l'origine par Kodera *et al.* [3], puis réactualisée et étendue à la classe de Cohen et à la classe affine par Auger *et al* [4]. Cette méthode non-linéaire crée une nouvelle représentation temps-fréquence en déplaçant l'énergie d'un point (t, f) sur le centre de gravité local de la distribution du signal autour de (t, f). Ce centre de gravité est défini de manière équivalente par le point (t', f') où t' et f' sont respectivement le retard de groupe et la fréquence instantanée calculés pour le point (t, f). On obtient ainsi le champ de vecteurs de réallocation $(t' - t, f' - f)$ du spectrogramme, qui décrit comment l'énergie est déplacé dans le plan temps-fréquence.

Le spectrogramme étant la convolution de la distribution de Wigner-Ville par une fenêtre de lissage, la réallocation va « refocaliser » l'énergie étalée par ce lissage. Sur la zone frontière d'un motif, cette énergie étalée va être déplacée vers l'intérieur du motif, par conséquent les vecteurs de réallocation vont tous indiquer l'intérieur du motif.

Une nouvelle définition de frontière de motif temps-fréquence est alors l'ensemble des points pour lesquels les vecteurs de réallocation associé sont localement parallèles. Cette définition outre le fait de définir implicitement un seuil a l'avantage d'être adaptée à tous types de signaux qu'ils soient non modulés, non-linéairement modulés ou large bande.

L'objectif de l'approche proposée consiste à parcourir le plan temps-fréquence pour rechercher les homo-

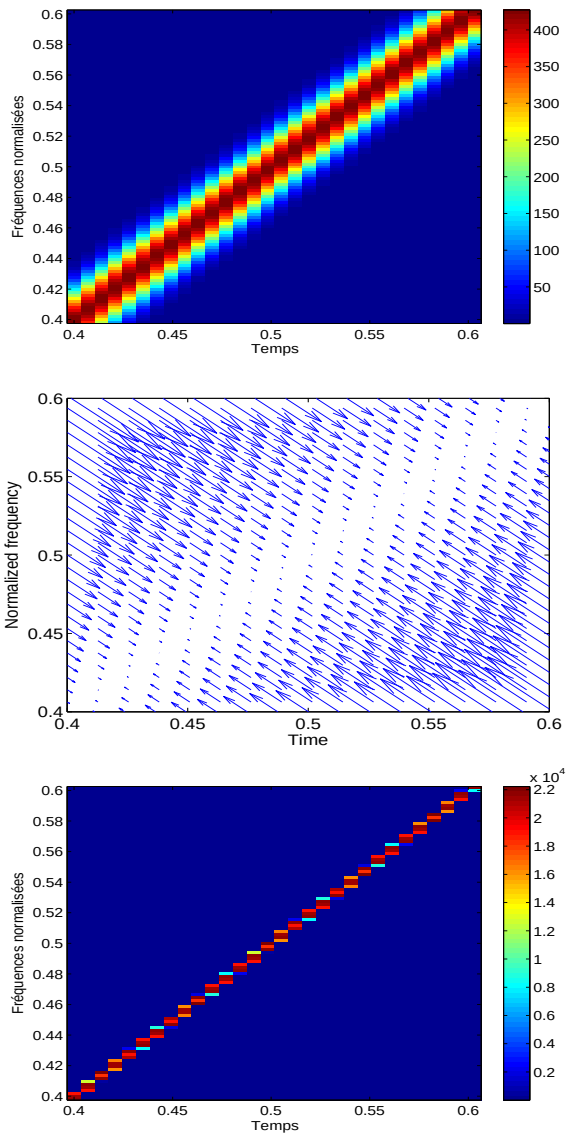

FIG. 1 : *Illustration de la réallocation sur une modulation linéaire de fréquence $x(t) = e^{i2\pi t^2/2}$. En haut, spectrogramme du signal. Au milieu, champ de vecteurs de réallocation théorique associé. À chaque point (t, f) est associé un vecteur pointant vers le point (t', f'), correspondant au vecteur de translation de l'énergie du point (t, f). Les normes des vecteurs ont été diminuées dans un soucis de lisibilité. En bas, spectrogramme réalloué. L'énergie du spectrogramme répartie dans le plan temps-fréquence est déplacée sur la droite $f = t$.*

généités locales de l'angle du vecteur de réallocation, et ainsi détecter les frontières des motifs.

2 Principe de la réallocation

Le spectrogramme $S_x^h(t, f)$ d'un signal $x(t)$ peut être défini de deux manières équivalentes. Il est généralement défini comme le module carré de la transformée de Fourier à court terme $F_x^h(t, f)$

$$F_x^h(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t-\tau)h^*(\tau)e^{-2\pi f t}d\tau, \qquad (1)$$

où $h(t)$ est la fenêtre d'analyse.
Le spectrogramme s'écrit également comme la transformée de Wigner-Ville lissée [5]

$$S_x^h(t, f) = \iint W_x(\tau, \nu)W_h(\tau - t, \nu - f)d\tau d\nu, \qquad (2)$$

où $W_x(t, f)$ est la transformée de Wigner-Ville du signal, et $W_h(t, f)$ le noyau de lissage égal à la distribution de Wigner-Ville de la fenêtre $h(t)$.

Ce lissage va étaler la répartition de l'énergie issue de la distribution de Wigner-Ville. Le principe de la réallocation est de « refocaliser » le spectrogramme. On déplace l'énergie du point (t, f) sur un nouveau point (t', f'), centre de gravité de la distribution de Wigner-Ville du signal dans un voisinage fonction de la fenêtre d'analyse $W_h(t, f)$ [5] :

$$t'(t, f) = \frac{1}{S_x^h(t, f)} \iint t W_x(\tau, \nu)W_h(\tau - t, \nu - f)d\tau d\nu \qquad (3)$$

$$f'(t, f) = \frac{1}{S_x^h(t, f)} \iint f W_x(\tau, \nu)W_h(\tau - t, \nu - f)d\tau d\nu \qquad (4)$$

Le champ de vecteurs de réallocation $\mathbf{r}(t, f)$ se définit alors comme

$$\mathbf{r}(t, f) = (t'(t, f) - t, f'(t, f) - f)^T. \qquad (5)$$

La deuxième représentation de la figure FIG. 1 montre un exemple de champ de vecteurs de réallocation pour une modulation linéaire de fréquence $x(t) = e^{i2\pi t^2/2}$. Théoriquement, le champ de vecteurs de réallocation calculé avec une fenêtre gaussienne d'énergie unité et de variance 2π s'écrit [5]

$$\mathbf{r}(t, f) = \frac{\sqrt{2}}{2}(f - t, t - f)^T, \qquad (6)$$

c'est-à-dire que tous les vecteurs pointent exactement sur la droite de fréquence instantanée $f = t$.

Sur cet exemple deux zones frontières où les vecteurs de réallocation sont parallèles apparaissent, de part et d'autre de la droite $f = t$ qui constitue le motif temps-fréquence. La section suivante présente de manière plus générale la détection de frontière de motifs temps-fréquence, définie par l'ensemble des points temps-fréquence dont les vecteurs de réallocation associés sont localement parallèles.

3 Détection de frontière

3.1 Algorithme proposé

Sur la frontière d'un motif, les vecteurs de réallocation pointent vers l'intérieur de ce motif. On considère que les variations du contour sont suffisamment lentes pour que ces vecteurs soient parallèles localement.

On propose alors un algorithme qui parcourt le plan temps-fréquence pour déterminer quels sont les points (t, f) dont le vecteur de réallocation associé est parallèle à tous les vecteurs d'un voisinage donné.

Néanmoins, à cause de la discrétisation du spectrogramme, les vecteurs de réallocation voisins sur une

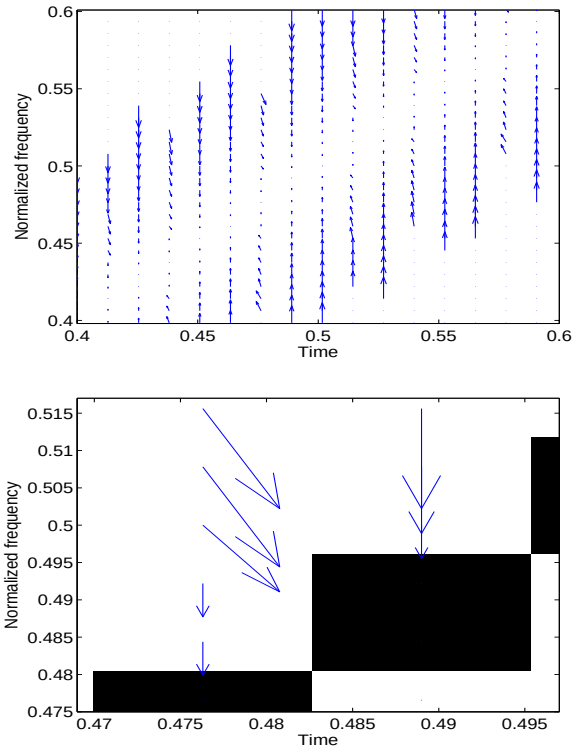

FIG. 2 : *En haut, champ de vecteurs de réallocation de la figure* FIG. *1 calculé expérimentalement. Pour une meilleure lisibilité, les vecteurs associés à une énergie négligeable n'ont pas été affichés, et les normes ont été réduites. En bas, zoom sur ce champ de vecteurs. Les points en noir sont les lieux où l'énergie du spectrogramme est réallouée. Deux vecteurs voisins peuvent viser le même point, conduisant à des angles différents.*

frontière ne sont pas en pratique parallèles. La figure FIG. 2 montre cet effet sur la modulation linéaire de fréquence de la FIG. 1. L'énergie du point (t, f) est déplacée sur le point le plus proche correspondant à la droite théorique $f = t$. Deux vecteurs de réallocation voisins vont cibler deux points différents et avoir des angles différents.

Par conséquent, l'algorithme cherche des vecteurs parallèles à un angle θ_0 près. Cet angle permet d'une part d'éviter le problème lié à la discrétisation du plan temps-fréquence, et d'autre part de suivre les variations du contour des motifs. On prend arbitrairement $\theta_0 = \pi/4$, correspondant à la différence maximale entre les angles de deux vecteurs de réallocation voisins sur une frontière.

L'algorithme de détection de frontière renvoie un indicateur noté $\mathrm{ind}(t, f)$, tel que

$$\mathrm{ind}(t,f) = \begin{cases} 1 \text{ si } |\mathrm{angle}(\mathbf{r}(t,f)) - \mathrm{angle}(\mathbf{r}(t',f'))| \leq \theta_0 \\ \qquad\qquad \forall (t',f') \in N_{t,f}, \\ 0 \text{ sinon.} \end{cases} \tag{7}$$

où $\mathrm{angle}(\mathbf{r})$ est l'angle du vecteur $\mathbf{r}$ et $N_{t,f}$ le voisinage $l_1 \times l_2$ considéré autour de (t, f).

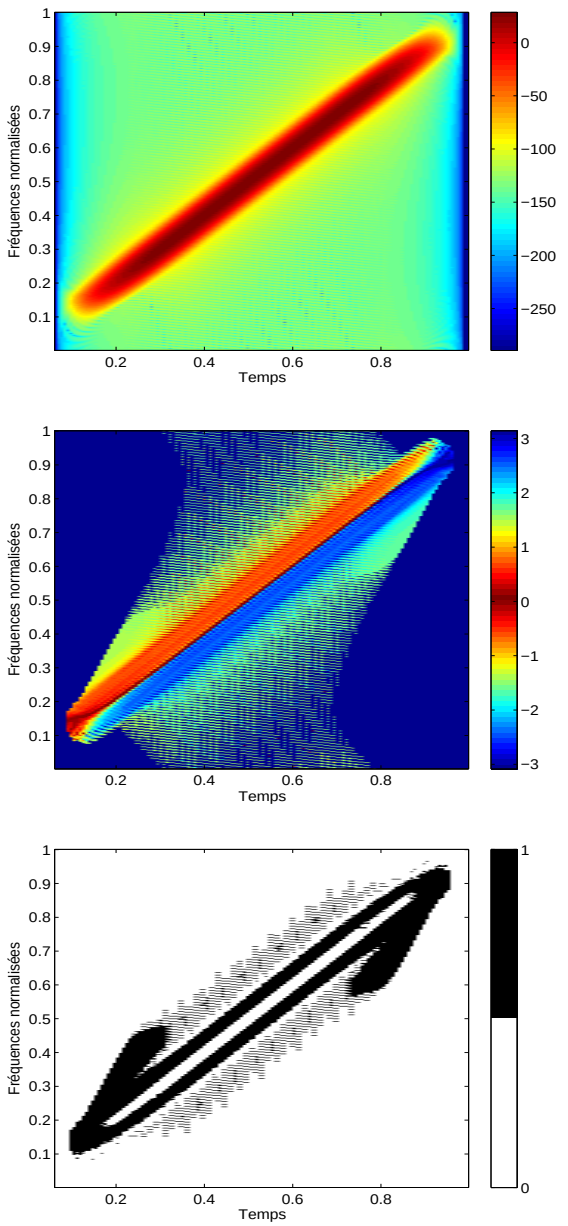

FIG. 3 : *Résultats de la détection de frontière sur une modulation linéaire de fréquence. En haut, spectrogramme du signal. Au milieu, valeur de l'angle du vecteur de réallocation en radians, codée en couleurs tel que π et $-\pi$ sont représentés de la même manière. En bar, résultat de la détection.*

3.2 Exemples

Le premier exemple est une modulation linéaire de fréquence, pour laquelle la réallocation donne de très bons résultats. La figure FIG. 3 montre un exemple pour un voisinage 3×3. Le signal est une modulation linéaire de fréquence de 1000 points dont l'amplitude temporelle est pondérée par une fenêtre. La transformée de Fourier à court terme est calculée pour une fenêtre gaussienne de 127 points, un recouvrement de 120 points et 512 fréquences calculées. La zone frontière du motif est correctement détecté, et les résultats de l'algorithme restent corrects jusqu'à un RSB de 5dB.

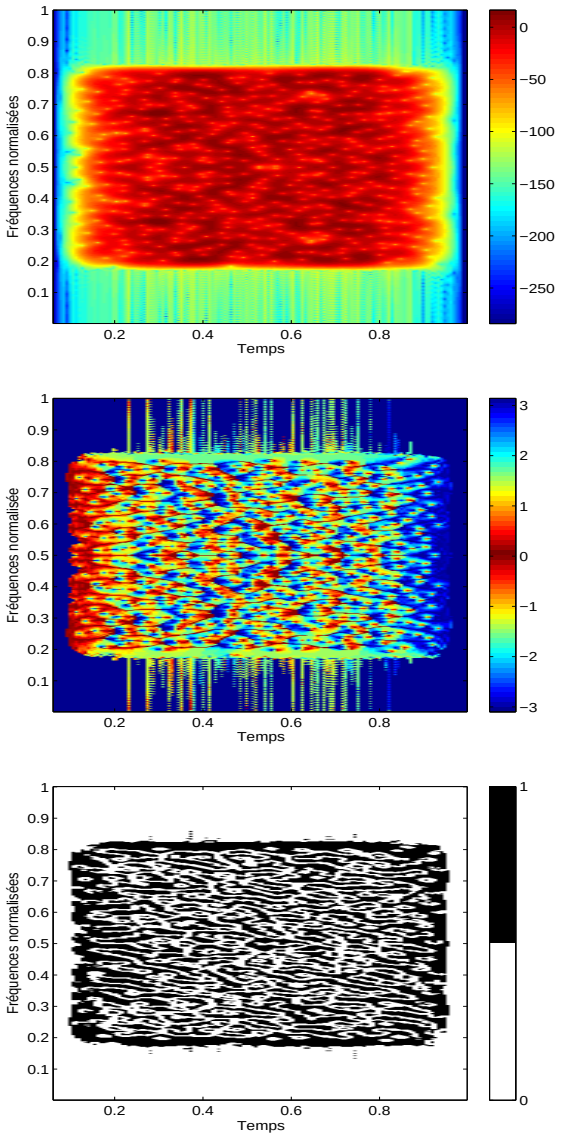

FIG. 4 : *Résultats de la détection de frontière sur un signal large bande, bruit gaussien fenêtré en temps et en fréquence. En haut, spectrogramme du signal. Au milieu, valeur de l'angle du vecteur de réallocation en radians. En bas, résultat de la détection.*

La figure FIG. 4 donne un exemple pour un signal aléatoire large bande, sur lequel la réallocation en tant qu'estimateur temps-fréquence ne fournirait aucun résultat exploitable. Par l'approche proposée, la frontière est bien détectée ; toutefois, il y a de nombreuses fausses alarmes autour des plus hautes valeurs locales du signal.

4 Conclusion et perspectives

Nous avons proposé un algorithme de détection de frontières de motifs temps-fréquence basée uniquement sur des concepts « signal », à savoir le spectrogramme et la réallocation. Les premiers résultats sur signaux synthétiques sont encourageants, et permettent de gérer les modulations de fréquence et les signaux large bande sans *a priori*.

De plus, cette méthode a été utilisée dans un contexte de segmentation temps-fréquence, pour ajouter de l'information au résultat de segmentation et déterminer si un ou plusieurs motifs sont segmentés ensemble [6]. En appliquant la détection de frontières présentée dans ce papier aux vecteurs de réallocation issus d'un motif segmenté, on détermine s'il y a pas des frontières détectées à l'intérieur du motif, indiquant par conséquent que plusieurs signaux sont segmentés ensemble.

Deux points restent actuellement en suspens : d'une part, l'influence du choix de l'angle de seuil θ_0 sur les résultats de détection. Ce seuil fixé à $\pi/4$ est suffisant pour éviter les problèmes illustrés par la figure FIG. 2, liés aux « sauts de phase » issus de la discrétisation du spectrogramme dans un cas non-bruité, mais ignore totalement l'influence d'un bruit additif.

D'autre part, la taille de la cellule $N_{t,f}$ sur laquelle on cherche l'homogénéité de l'angle des vecteurs de réallocation est actuellement fixée à 3x3, sans considérer la corrélation entre les coefficients temps-fréquence. Une forte corrélation entraînera des vecteurs de réallocation similaires entre voisins, et par conséquent mènera à de nombreuses fausses alarmes.

Une autre piste à suivre est l'utilisation de la valeur de l'angle du vecteur de réallocation. Comme le montrent les représentations centrales des figures FIG. 3 et 4, cet angle varie régulièrement le long du contour, visant toujours l'intérieur du motif. L'idée est de suivre l'évolution de la valeur de l'angle pour construire un contour chaîné.

Références

[1] Benoit Leprettre and Nadine Martin, "Extraction of pertinent subsets from time-frequency representations for detection and recognition purposes," *Signal Processing*, vol. 82, pp. 229–238, 2002.

[2] F. Millioz and N. Martin, "Detection of the boundaries of time-frequency patterns with a reassignment-based method," in *Proceedings of IMA7*, Cirencester, England, december 2006.

[3] K. Kodera, C. De Villedary, and R. Gendrin, "A new method for the numerical analysis of nonstationary signals," *Phys. Earth and Plan. Int.*, vol. 12, 1976.

[4] François Auger and Patrick Flandrin, "Improving the Readability of Time-Frequency and Time-Scale Representations by the Reassignment Method," *IEEE Trans. Signal Proc.*, vol. 40, pp. 1068–1089, 1993.

[5] Eric Chassande-Mottin, *Méthodes de réallocation dans le plan temps-fréquence pour l'analyse et le traitement de signaux non stationnaires*, Thèse de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, septembre 1998.

[6] F. Millioz and N. Martin, "Reassignment Vector Field for Time-Frequency Segmentation," in *Proceedings of ICSV14*, Cairns, Australia, july 2007.