

DESCRIPTION D'UN LOGICIEL D'ANALYSE TEMPS-FREQUENCE

F. PEYRIN, M. DEMANTKE, YUE MIN ZHU, R. GOUTTE

Laboratoire de Traitement du Signal et Ultrasons - INSA - Bât. 502 -
20, avenue Albert Einstein - 69621 Villeurbanne cedex

RÉSUMÉ

Cet article décrit un logiciel interactif d'analyse temps-fréquence implanté sur un micro-ordinateur de type IBM PC/AT. Il permet à des utilisateurs non spécialistes de calculer et d'exploiter rapidement les représentations temps-fréquence de signaux numériques, obtenues avec le spectrogramme ou la Transformation de Wigner-Ville dans ses différentes versions. Outre son aspect traitements, le logiciel permet d'acquérir des signaux analogiques (si on lui ajoute une carte spécialisée) et de gérer les signaux numériques ainsi que les résultats obtenus. Un effort particulier a également été porté à la convivialité du logiciel et à la représentation des résultats obtenus. Un module de visualisation permet de les représenter sous formes bidimensionnelle ou tridimensionnelle sur un écran graphique en 16 couleurs. Etant donnée la configuration assez standard du matériel et ses possibilités, le logiciel peut être utilisé soit à but pédagogique, soit pour des applications très diverses.

SUMMARY

This paper presents an interactive software designed for time-frequency analysis developed on a personal computer PC/AT. It allows non-specialist users to compute and examine the time-frequency representations of numeric signals obtained with the spectrogram or the Wigner Distribution in its different versions. Furthermore, the system allows the acquisition of analogic signals (if it is used with a specialized card) and performs the management of the data basis of the numerical signals and of their associate results. Special attention have been devoted to the general presentation of menus and results. A visualisation module allows to represent the results as two-dimensional or three dimensional images on a graphic screen with 16 colours. Due to its standard configuration and to its simplicity this system can either be used for pedagogic or practical applications.

I - Introduction

Les représentations conjointes temps-fréquence sont particulièrement intéressantes pour l'étude des signaux non stationnaires. Le spectrogramme, ou son équivalent le sonogramme est une méthode très populaire dans le domaine du traitement de la parole. Il existe en outre de nombreux systèmes commercialisés permettant d'obtenir le sonogramme à partir de signaux analogiques ou numériques. Ces dernières années un grand nombre de travaux consacrés à la Transformation de Wigner Ville (TWV), ont prouvé que c'était une méthode de représentation intéressante souvent supérieure au spectrogramme au niveau de la finesse de l'analyse [1] [2] [3]. Toutefois, son interprétation est rendue délicate par la présence de termes dits d'interaction apparaissant entre les différentes composantes du signal [4]. L'utilisation des transformations de Pseudo Wigner Ville (TPWV) et de Pseudo Wigner Ville Lissée (TPWVL) incorporant des fenêtres de lissage temporelle et/ou fréquentielle, adéquatement choisies [5] permet d'améliorer la lisibilité des images temps-fréquence obtenues. Malgré ses avantages théoriques, la TWV est encore d'usage peu courant du fait de raisons de mise en oeuvre et d'interprétation.

Dans cette communication nous présentons un logiciel

interactif d'Analyse temps-fréquence, permettant à des utilisateurs non spécialistes de calculer et d'exploiter rapidement les représentations temps-fréquence (RTF) de signaux numériques, obtenues avec le spectrogramme, ou la TWV dans ses différentes versions.

II - ACQUISITION DES SIGNAUX

Le logiciel permet de traiter et d'analyser des signaux entrés soit par voie analogique, soit par voie numérique. Tous les traitements sont ensuite numériques, les signaux et les résultats obtenus étant gérés par le logiciel.

2.1 - Acquisition de signaux analogiques

La partie "Traitement analogique et acquisition" du logiciel utilise une carte de traitement du signal à base de processeurs NEC7720. Celle ci permet d'échantillonner des signaux jusqu'à une fréquence de 25.6 KHz. Outre ses possibilités de numérisation, la carte permet d'effectuer quelques traitements temps-réel sur les signaux (en particulier FFT, filtres...). Le logiciel permet à l'utilisateur de visualiser le signal analogique présent à l'entrée de la carte ou son spectre, ou enfin d'acquérir le signal. Dans le 1er cas, le



signal présent sur l'entrée analogique de la carte est échantillonné à la fréquence spécifiée par l'utilisateur, puis affiché en continu sur l'écran. Un seuil de déclenchement choisi par l'utilisateur (0 à 100%) permet de synchroniser le départ du balayage sur le début du signal. Si l'utilisateur veut visualiser le spectre la procédure est sensiblement la même, sauf que son spectre est calculé via la carte NEC, avant d'être affiché en continu. En phase d'acquisition, le signal ne s'affiche plus en continu mais page par page sous le contrôle de l'utilisateur. Le signal numérisé peut contenir de 128 à 4096 points. Si le signal affiché est satisfaisant l'utilisateur peut ordonner son stockage sur disque dans la base de données du logiciel.

2.2 - Entrée de signaux numériques

Les signaux numériques traités par le logiciel sont stockés dans un même fichier qui constitue la base de données du logiciel. Les fichiers externes peuvent être rentrés dans cette base de données par un utilitaire du logiciel. Il est possible de créer plusieurs bases de signaux à condition de se placer dans des répertoires MS-DOS distincts. Chaque signal stocké possède un nom et quelques autres informations (fréquence d'échantillonnage, date d'acquisition, nombre de points) qui permettent de l'identifier. A tout moment on peut consulter la liste des signaux, ou de supprimer l'un deux.

Lorsque la base de signaux est constituée l'utilisateur doit sélectionner un signal sur lequel seront effectués tous les traitements ultérieurs.

III - TRAITEMENTS

Le logiciel peut être utilisé d'une part pour faire de l'analyse temporelle ou fréquentielle conventionnelle, ou d'autre part pour faire de l'analyse temps-fréquence.

3.1 - Analyse temporelle ou fréquentielle

L'utilisateur a la possibilité de visualiser sur l'écran le signal temporel ou son spectre. Celui-ci est calculé en utilisant des procédures de calcul rapide de TF discrète (TFD). Le nombre de points de calcul peut être choisi entre 32 et 1024 (puissance de 2). Le logiciel permet également de visualiser le signal analytique (SA) associé au signal réel sous forme partie réelle, partie imaginaire et module. Chacun des signaux peuvent être traités et visualisés en entier ou par parties.

3.2 - Analyse temps-fréquence

Le logiciel permet de calculer le spectrogramme, la TWV et quelques unes de ces variantes explicitées ci-dessous.

3.2.1 - Spectrogramme

Le spectrogramme est une méthode de représentation temps-fréquence dérivant directement de la transformation de Fourier (TF). On l'appelle encore Densité Spectrale à Court Terme puisqu'il consiste à prendre le module de la TF sur des portions successives de signaux découpées par des fenêtres. Plus précisément, nous donnons les différentes défini-

tions utilisées, ceci dans le cas discret.

Soit $\{f(n), n = 0, \dots, M-1\}$ un signal temporel discret et $\{w(n), n=0, \dots, 2C+1\}$ une fenêtre de taille $2C+1$. A l'instant n , la portion de signal découpée par la fenêtre peut s'exprimer comme :

$$g_n(j) = f(j-C+n) w(j-C) \quad \text{pour } j = 0, N-1 \quad (1)$$

où N est une puissance de 2 supérieure à $2C+1$. Le spectre instantané à l'instant n fourni par le spectrogramme est obtenu en prenant le module de la TFD de g_n , soit :

$$S(n, k) = \left| \sum_{j=0}^{N-1} g_n(j) \exp(-2i\pi jk/N) \right|^2 \quad (2)$$

On obtient ainsi une représentation bidimensionnelle lorsque $n=0, M-1$ et $k=0, N/2 - 1$.

3.2.2 - Transformation de Wigner-Ville

La TWV discrète ainsi que ses propriétés à déjà été largement détaillée dans de nombreux articles (par exemple [1] [6] [7]). Avec les mêmes notations que précédemment nous donnons simplement la définition retenue de la TWV discrète $W_f(n, k)$.

$$W_f(n, k) = \sum_{j=0}^{M-1} f(n+j) f^*(n-j) \exp(-2i\pi j \frac{k}{M}) \quad (3)$$

Dans le logiciel toutes les RTFs dérivées de la TWV sont calculées non pas à partir du signal réel mais à partir du SA associé au signal réel. En effet ceci présente deux avantages majeurs : d'une part on évite ainsi les problèmes de recouvrements dans les résultats lorsque l'on utilise un signal réel échantillonné à la fréquence de Shannon, d'autre part ceci permet de simplifier l'interprétation de la représentation sans perte d'information.

Le SA est obtenu par élimination des fréquences négatives de la TF du signal réel. Son calcul discret est effectué à partir des algorithmes de TFD.

3.2.3 - Variantes de la TWV

Pour des raisons pratiques et de lisibilité de la RTF obtenue il est souvent intéressant d'utiliser des variantes de la TWV et en particulier : la transformation de Pseudo Wigner Ville (TPWV) et la TPWV lissée.

La TPWV consiste à appliquer la TW à des portions de signal délimitées par une fenêtre. Dans ce cas nous utilisons deux modes de calculs différents : dans un cas, à chaque instant n , on applique la TWV au SA associé à la portion de signal g_n , dans l'autre cas, on évalue tout d'abord le SA associé au signal entier, puis à chaque instant n on applique la TWV à la portion de SA découpée par la fenêtre. Le SA étant déterminé une fois pour toutes, cette version est numériquement plus rapide et elle est référée dans le logiciel sous le nom de PWV rapide. Les différences précises entre les deux versions sont étudiées dans [8].

Sur l'une ou l'autre de ces versions, le logiciel permet d'effectuer un lissage temporel en appliquant un masque de convolution. On obtient ainsi une TPWV lissée. Notons que cette représentation et une version lissée de la TWV à la fois par rapport à la variable fréquentielle (effet de la fenêtre) et temporelle. L'effet de ces lissages est intéressant au niveau de la lisibilité des résultats.

Notons que les différentes RTFs ont toutes la

caractéristique commune de se calculer à partir de TFD 1D. Pour cela nous avons utilisé des procédures de calcul rapide de la TFD programmant directement le coprocesseur mathématique en langage d'assemblage et permettant d'obtenir des temps de calcul intéressants.

IV - PRESENTATION GENERALE DU LOGICIEL

Le logiciel est organisé sous forme de menus arborescents. Un effort particulier a été porté à sa présentation et à sa convivialité. Le choix des différents menus s'effectue simplement en positionnant le curseur à l'endroit voulu.

La partie "calculs" du module d'analyse temps fréquence propose les choix suivants.

- a) spectrogramme
- b) Pseudo Wigner-Ville rapide
- c) Pseudo Wigner-Ville normale
- d) Wigner-Ville simple.

Dans chaque cas on doit choisir un certain nombre de paramètres dont le premier et le dernier point de calcul du signal temporel (qui fixe la portion de signal traité) et le pas de calcul temporel qui fixe le nombre de "spectres instantannés" calculés. Pour les choix a) b) et c) l'utilisateur doit de plus spécifier la fenêtre utilisée en choisissant sa taille, son type (rectangulaire ou hamming) et le nombre de points de calcul de la FFT. Enfin dans les cas de calculs de TPWV b) et c) il doit spécifier la taille et les coefficients du masque de filtrage temporel. Dans tous les cas le logiciel possède un jeu de paramètres implicites afin de guider un utilisateur non spécialiste. Dans le cas de paramètres numériques l'intervalle de validité est affiché et les touches d'édition permettent d'effectuer des corrections. Dans certains cas (type de fenêtre, par exemple) le logiciel propose un choix parmi plusieurs types, le type sélectionné s'allumant. Le choix s'effectue alors à l'aide des touches "flèche droite" et "flèche gauche" qui permettent de déplacer le curseur à la position voulue. Lorsque tous les paramètres sont fixés, l'utilisateur les valide en utilisant une touche fonction.

Une fois effectués, les calculs sont sauvegardés dans des fichiers résultats, associés au signal traité avec les paramètres de calculs :

- type de RTF (spectro, TWV, TPWV...)
- nombre de points de calcul de la TFD
- type de fenêtre
- taille de la fenêtre
- premier et dernier point de calcul
- pas de calcul temporel.

Il est possible de consulter la liste de tous les résultats disponibles pour un signal donné ainsi que de supprimer certains d'entre eux. Tous les paramètres de calcul sont également visualisés. Notons que le logiciel n'effectue pas un nouveau calcul si un résultat possédant les mêmes paramètres est déjà stocké.

V - VISUALISATION DES RESULTATS

La visualisation des résultats peut s'effectuer sous forme bidimensionnelle ou tridimensionnelle sur l'écran graphique (mode EGA 640 x 350) en 16 couleurs. La représentation bidimensionnelle permet

une exploitation quantitative approfondie alors que la représentation tridimensionnelle est plutôt qualitative et donne une vue d'ensemble du résultat.

51 - Représentation bidimensionnelle

Dans ce mode, deux RTFs peuvent être visualisées simultanément (partie supérieure et inférieure de l'écran). A côté de chacune d'elle les paramètres et le type de traitement effectué sont indiqués. L'axe des temps est horizontal (dirigé vers la droite), l'axe des fréquences est vertical (vers le haut).

Chaque RTF est représentée sous la forme d'une image 512 x 128, l'amplitude du spectre étant représentée par une couleur (comprise entre 0 et 15). La table de correspondance entre les amplitudes et les couleurs est affichée au dessus de chaque image.

De nombreuses fonctions sont accessibles par l'intermédiaire des touches spéciales (F1 à F7). Le rappel de leur action est affiché en bas de l'écran. La touche F1 permet de permuter l'image supérieur et l'image inférieure. On a la possibilité de visualiser le signal temporel et son spectre simultanément avec leur RTF en utilisant les touches F2 et F5. La touche F3 permet de modifier la palette des couleurs. La touche F4 réalise une interpolation linéaire bidimensionnelle, ce qui est particulièrement utile lorsque l'image calculée est de taille inférieure à 512 x 128 (fonction de la largeur de la TFD et du pas temporel). La touche F6 permet d'effectuer des actions à partir d'une souris : dans ce mode un curseur graphique est visualisé sur l'écran et peut être déplacé sur l'image, les coordonnées temporelles et fréquentielles du point où se trouve le curseur ainsi que l'amplitude en ce point sont alors affichées. Par cliquage sur le bouton droit ou gauche de la souris on peut afficher des profils horizontaux ou verticaux de la RTF. Ce mode permet donc de scruter de façon précise les résultats obtenus.

5.2 - Représentation tridimensionnelle

Dans ce cas, le résultat est représenté en perspective sous forme d'une surface en couleur. L'amplitude spectrale constitue la troisième dimension. La surface est décomposée en facettes planes triangulaires. La couleur de chaque facette est déterminée par l'amplitude moyenne de celle-ci et par la palette en vigueur. Deux représentations peuvent être affichées sur deux pages distinctes de l'écran. La commutation rapide d'une page sur l'autre permet de comparer facilement les deux images.

VI - APPLICATION

A titre d'illustration, nous donnons deux exemples d'application du logiciel à des signaux synthétiques ou physiques.

Le haut de la figure 1 représente un signal temporel composé de deux sinusoides pures. La RTF obtenue avec la TPWV représentée sous forme tridimensionnelle fait apparaître les deux composantes fréquentielles en fonction du temps.

La figure 2 représente deux RTFs calculées sur un signal biologique (haut), d'une part en utilisant la TPWV (partie supérieure) et d'autre part le spectrogramme (partie inférieure) toutes deux calculées avec en utilisant la même fenêtre. Ce type d'image permet d'apprécier les comportements diffé-



rents de ces deux représentations. Notons que les temps de calculs pour un spectrogramme, ou une TPVV rapide lissée ou non sont du même ordre. A titre indicatif, il faut de l'ordre de 1mm pour un signal de 1024 points, en utilisant un pas temporel de 2 et une TFD sur 128 points.

VII - CONCLUSION

Le logiciel d'analyse temps-fréquence ATF présenté dans cette communication permet d'obtenir des RTFs diverses de signaux numérique. Il permet de calculer et de comparer rapidement les résultats lorsque les paramètres varient et ainsi de choisir la RFT la plus adaptée au signal traité. Ses possibilités et sa facilité d'emploi permettant d'envisager son utilisation en tant qu'outil pédagogique pour l'étude des différentes méthodes d'analyse temps-fréquence. Il permet en particulier de mieux appréhender le comportement de la TWV et d'évaluer ses performances par rapport au spectrogramme.

Bien qu'il soit implanté sur un petit système informatique (peu onéreux), il offre des performances intéressantes, tant au point de vue de la rapidité de traitement que sur le plan du confort d'exploitation (graphisme, souris...). Par ailleurs de part la configuration assez standard du matériel, le logiciel peut facilement être intégré dans un environnement informatique et peut être exploité pour des applications concrètes diverses.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - T.A.C.M. Claasen and W.F.G. Mecklenbrauker, "The Wigner Distribution - A tool for time frequency signal analysis", Philips J. Res., vol 35, p. 217-250, 276-300, 372-383, 1980.
- [2] - P. Flandrin and B. Escudie, "An interpretation of the Pseudo-Wigner-Ville distribution", Signal Processing, n°6, p. 27-36, 1984.
- [3] - Zhu Yue Min, F. Peyrin and R. Goutte, "Transformation de Wigner-Ville : description d'un nouvel outil de traitement du signal et des images", Annales des telecom, vol. 42, n° 3-4, p. 105-108.
- [4] - F. Hlawatsch, "Interference terms in the Wigner Distribution", Digital Signal Processing-84, North Holland, Amsterdam, p. 363-367, 1984.
- [5] - P. Flandrin, "Some feature of time-frequency representation of multicomponent signals", Proc. ICASP 84, San Diego, p. 41B41-4, 1984.
- [6] - T.A.C.M. Claasen and W.F.G. Mecklenbrauker, "The aliasing problem in discrete-time Wigner distribution, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-31, p. 1067-1072, Oct. 1983.
- [7] - F. Peyrin and R. Prost, "A unified version for the discrete time, discrete frequency, discrete time-frequency Wigner Distribution", IEEE ASSP, vol ASSP-34, p. 858-867, 1986.
- [8] - F. Peyrin, Zhu Yue Min, R. Goutte "A note on the use of the analytic signal in the Wigner Distribution", Proc. Int. Symp. on Circuits and Systems, Portland, may 1989.

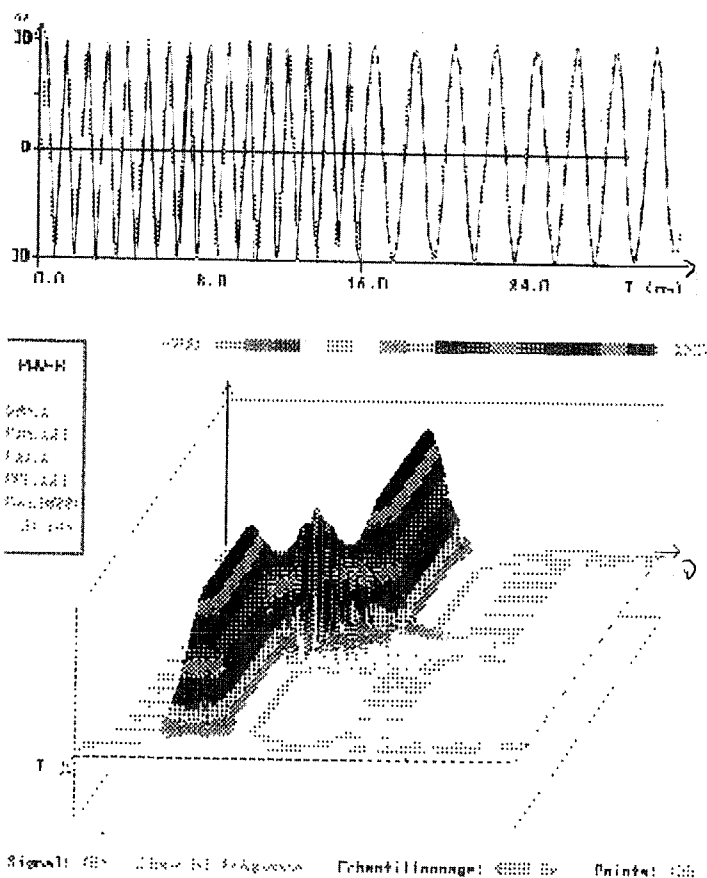


Figure 1

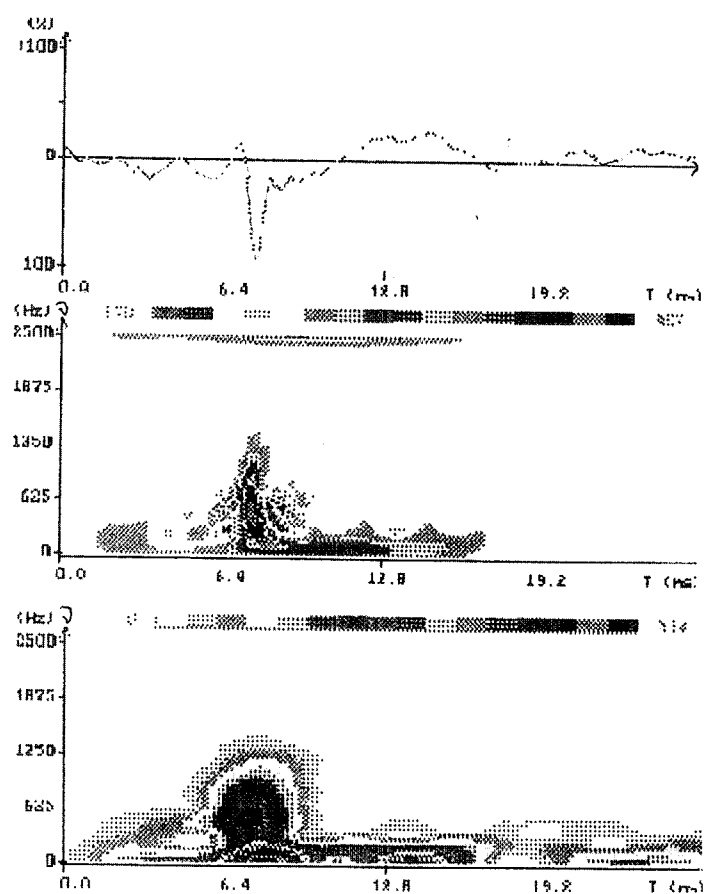


Figure 2