

## UN LOGICEL D'AIDE A L'ENSEIGNEMENT DU FILTRAGE NUMERIQUE ADAPTATIF

*, **H. MIMOUN	*M. CIAZYNSKI	et M. BELLANGER
** Laboratoire M.A.S.I.	* I.S.E.P.	T.R.T.
Université Paris 6	21, Rue d'Assas	5 Ave REAUMUR
4, Place JUSSIEU	75006 Paris	92350 Plessis-
75252 Paris CEDEX 05		Robinson
FRANCE	FRANCE	FRANCE

### RESUME

La disponibilité de calculateurs personnels relativement puissants, avec une grande capacité de mémoire et des moyens de visualisation évolués, conduit à envisager la mise à disposition d'outils efficaces d'aide à l'enseignement dans tous les domaines de la technique.

Le filtrage adaptatif se prête particulièrement bien à cette approche car il s'appuie sur une théorie relativement difficile et son assimilation se trouve considérablement facilitée par des exemples et des simulations.

L'objet de cet article est de présenter l'organisation générale d'un logiciel d'aide à l'enseignement du filtrage adaptatif en illustrant les principales techniques et les options prises dans la réalisation.

### SUMMARY

The availability of personal computers having a high processing power and a large memory combined with improved visual means leads to efficient tools for education in all technical fields.

Adaptive filtering lends itself very well to that kind of approach. The theory behind is difficult to grasp and educational tools are particularly helpful, since they provide examples and simulations at will on the spot.

In this paper a software is presented for illustrating the various techniques of adaptive filtering. The organization is described and the various options taken are justified. Several examples illustrate the versatility of this educational tool.

#### I -INTRODUCTIONS :

Le filtrage adaptatif est un sujet difficile à aborder car il se trouve au carrefour d'un ensemble de disciplines, le traitement du signal, l'automatique, la théorie de l'estimation notamment [1].

Dans sa mise en oeuvre, il nécessite des approximations parfois importantes et qui peuvent apparaître peu réalistes.

Dans ces conditions, un logiciel d'aide à l'enseignement peut être d'une grande utilité, aussi bien pour la formation initiale que pour la formation continue professionnelle.

Un logiciel d'enseignement assisté par ordinateur pour le filtrage adaptatif doit s'appuyer sur les points suivants :

1 - Un environnement de traitement numérique du signal qui permette de disposer :



- d'outils de conception des filtres numériques les plus courants (RIF - RII - Cascade).

- d'outils de manipulation et d'analyse des signaux, en particulier la transformée de Fourier Discrète.

2 - Une base d'outils de génération des signaux de test et d'essai.

3 - Des moyens de visualisation souples et faciles à utiliser.

C'est en considérant ces trois points essentiels qu'il a été décidé de développer un module de filtrage adaptatif dans le cadre du système MONARCH [3] conçu par la société ATHENA en collaboration avec l'université de Gainesville, FLORIDE - USA. En effet, comme on peut le voir sur l'architecture du logiciel de la figure 1 le système MONARCH comporte les trois parties nécessaires pour la mise au point d'un tel logiciel [2].

- DESIGN est un sous-ensemble de calcul et simulation de filtres numériques.

- SIGLAB est un module entièrement intégré dans MONARCH, conçu pour permettre la génération rapide, la manipulation et la visualisation des signaux.

- VIEW est un module de visualisation démonstratif et facile à utiliser.

De plus un système d'exploitation simplifié OS-SHELL est disponible pour faire un certain nombre de manipulations de fichiers et d'opérations sans sortir du système.

Le système MONARCH fonctionne sur les micro-ordinateurs personnels PC-AT et XT de la gamme IBM et compatibles.

Le module développé en langage C pour le filtrage adaptatif comporte deux sous-ensembles, ADFLMS pour les filtres utilisant les algorithmes de types gradient et ADFEMS pour ceux qui font appel aux algorithmes de moindres carrés rapides (MCR).

Ces deux sous-ensembles sont organisés de façon similaires.

## II - PRINCIPES ET CHOIX DES PARAMETRES :

Le principe d'un filtre adaptatif est donné à la figure 2.

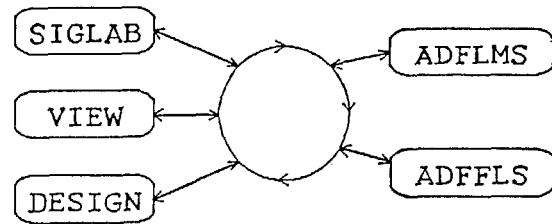


Fig. 1 - Architecture du logiciel.

Il est constitué d'un filtre à coefficients variables auquel est appliqué un signal d'entrée  $x(n)$  et qui produit une sortie  $\tilde{y}(n)$ . Ce signal de sortie est soustrait d'une référence  $y(n)$  pour produire une erreur  $e(n)$ , utilisée, conjointement avec l'entrée, pour la mise à jour des coefficients du filtre à chaque valeur de l'indice temporel.

Le logiciel consiste essentiellement à partir des fichiers des signaux, d'entrée et de référence, à produire des fichiers contenant les sorties et les variables internes du système.

La visualisation graphique de ces fichiers permet ensuite d'observer le fonctionnement du filtre adaptatif, c'est-à-dire l'évolution des coefficients du filtre et de l'erreur de sortie  $e(n)$ , de revenir sur les choix qui ont été faits pour la conception, et d'étudier les modifications permettant d'atteindre les spécifications. Les moyens informatiques des micro ordinateurs étant limités, les possibilités sont nécessairement restreintes.

C'est ainsi que le nombre d'itérations temporelles est initialement à 1024 et le nombre de coefficients à 100. A noter que le système de visualisation graphique ne permet pas de faire apparaître plus de six variables à la fois sur un même écran.

Les logiciels ADFLMS et ADFFLS opèrent sur le mode question-réponse avec options ou domaine de validité des variables.

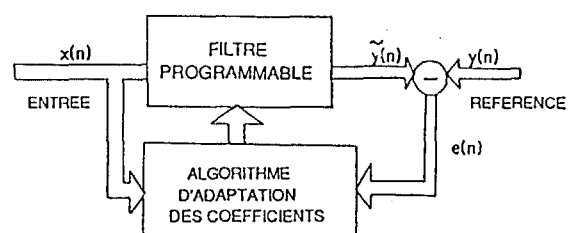


Fig. 2. — Principe d'un filtre adaptatif

**III - LE SOUS-ENSEMBLE ADF-LMS :**

La suite des opérations qui apparaissent sur le moniteur dans le fonctionnement de ce sous-ensemble est la suivante :

DESIGN    VIEW    SIGLAB    APPLICATIONS    OS SHELL    QUIT

MONARCH SYSTEM SET-UP

Data Directory    : c:\mondal\  
 Color Scheme     : [    ]

DESIGN	ARCHITECTURE	VIEW	APPLICATIONS
1 <# FIR >#	CASCADE.EXE	FFT.EXE	ADFLMS.EXE
2 <# IIR >#	DIRECT-II.EXE	2-D.EXE	ADFFLS.EXE
3 <# ASC >#	PARALLEL.EXE	3-D.EXE	
4 POLE-ZERO.EXE		SCHEMATIC.EXE	
5 STATE-VAR.EXE		EDIT.COM	
6		CIRCLE.EXE	
7			
8			
9			
10			

ADFLMS  
ADFFLS



CHOICE OF STRUCTURE : (T) (L) (O)

(T) TRANSVERSAL  
 (L) LATTICE-LADDER  
 (O) OTHER

CHOICE : T

CHOICE OF ALGORITHM : (L) (N) (E) (D) (S)

(L) STANDARD LMS  
 (N) NORMALIZED LMS  
 (E) ERROR SIGN  
 (D) DATA SIGN  
 (S) SIGN ALGORITHM

CHOICE : L

If your signal files are not available  
 you can build them using 'SIGLAB'  
 so you exit by 'N' or continue !

NUMBER OF COEFFICIENTS (1...100) = 6  
 NUMBER OF ITERATIONS (1...1024) = 1001  
 INPUT SIGNAL FILE (With Path) = sin3

REFERENCE SIGNAL (Y=Modelling N=Prediction) = n  
 NOISE COMPONENT (added to input signal) (Y/N) = y  
 SIGNAL-TO-NOISE RATIO (dB) = 40  
 NOISE COMPONENT FILE (With Path) = noise

ADAPTATION STEP SIZE ( < 0.3096 ) = 0.1

ERROR FILE NAME (with Path) = error  
 NUMBER OF COEF. FILES TO SAVE (<=6) = 3

1. INDEX OF COEF. TO SAVE = 1  
 2. INDEX OF COEF. TO SAVE = 2  
 3. INDEX OF COEF. TO SAVE = 6

FILE OF COEF. NUMBER 1 (With Path) = coef1  
 FILE OF COEF. NUMBER 2 (With Path) = coef2  
 FILE OF COEF. NUMBER 6 (With Path) = coef6

PLOT ZEROS IN U.C. ( Order <= 10 ) (Y/N) = y  
 FILE OF ZEROS (Prefix With Path) = ZEROS

FIXED POINT SIMULATION (Y/N) = n

Les structures, algorithmes et équations sont décrits complètement dans la référence [1]. Cette liste appelle les remarques suivantes :

- deux configurations du filtrage adaptatif sont considérées, correspondant aux deux grandes classes d'applications, qui sont la prédiction linéaire (référence nulle) et la modélisation-identification.
- la possibilité d'ajouter un bruit aux signaux d'entrée ou de référence est fournie.
- la limite théorique de stabilité est calculée et affichée, pour aider l'utilisateur à choisir le pas d'adaptation.



- une option comportant l'arrondi des coefficients et des données internes est proposée. Pour quantifier une variable, le fichier correspondant est exploré et la valeur maximale trouvée est utilisée comme référence pour déterminer le pas de quantification.

**IV - VISUALISATION GRAPHIQUE DES RESULTATS :**

Il est possible de visualiser :

- l'évolution des zéros de la fonction de transfert du filtre, comme on peut le voir sur la figure 3.

- l'évolution des coefficients et l'erreur de sortie, sur les figures 4 et 5. Les courbes peuvent apparaître une par une en écran plein, toutes sur un même écran ou superposées avec des couleurs différentes. Une fonction ZOOM est disponible pour l'agrandissement d'une partie quelconque de la courbe, et la valeur d'un point marqué sur écran par une croix déplaçable peut être obtenue et accompagnée par la valeur la plus proche dans le fichier correspondant. Les figures ci-dessus correspondent à l'exemple du paragraphe précédent.

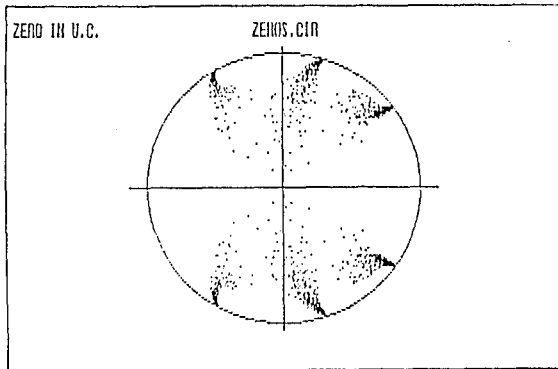


Fig. 3 - Evolution des zéros du prédicteur d'ordre 6.

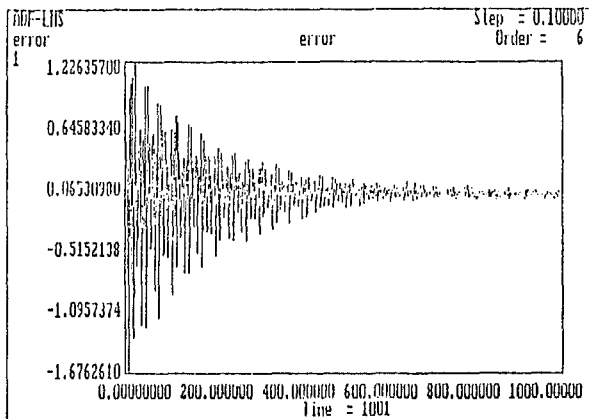


Fig. 4 - Evolution de l'erreur de prédiction.

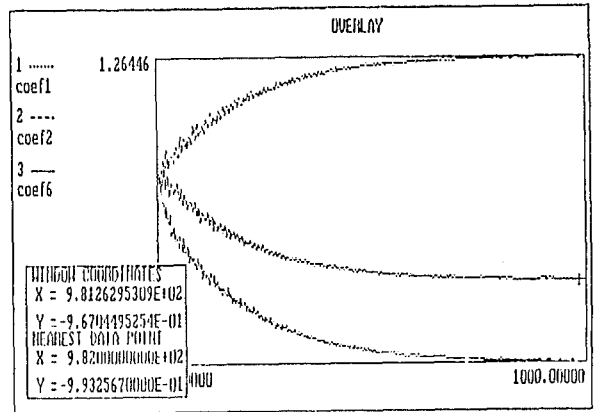


Fig. 5 - Evolution des coefficients du prédicteur.

**V - EVOLUTION ET CONCLUSION :**

La mise en place du module ADFFLS pour les algorithmes MCR est en cours de réalisation. La même démarche est utilisée, les types d'algorithmes mis en oeuvre correspondent aux trois grandes familles qui sont les algorithmes associés aux structures de type transversal, treillis et à rotations.

Le logiciel ainsi obtenu doit permettre de faciliter l'enseignement du filtrage adaptatif, en offrant la possibilité de faire des simulations pendant les cours, à l'aide d'un micror-ordinateur portable par exemple, pour illustrer immédiatement les résultats théoriques exposés.

Ce peut être aussi un outil transportable, simple à utiliser pour la conception de systèmes réels en laboratoire ou sur le terrain.

Finalement, en facilitant l'accès aux techniques de filtrage adaptatif, le logiciel présenté devrait contribuer à rendre plus accessible et à étendre ce domaine.

**BIBLIOGRAPHIE :**

- [1] M. BELLANGER, "Analyse des Signaux et Filtrage Numérique Adaptatif", Masson éd., Paris, 1989, 400p.
- [2] F.J. TAYLOR, T.STOURAITIS, "Digital Filter Design Software For IBM PC", Marcel Dekker inc, New York, 1987.
- [3] MONARCH "User's Manuel", The Athena Group, inc. 3424 N.W. 31st Street Gainesville, FL 32605.