

## Adaptatif et non stationnaire

Odile MACCHI

Ce document est le fruit de deux années de travail collectif de l'un des huit groupes de travail du Groupement de Recherche Traitement du Signal et Images. Ce groupe, intitulé « Adaptatif et Evolutif » fait partie du pôle n° 1 « Non Stationnaire ». Il a pour objectif de répertorier les méthodes de modélisation et d'estimation des signaux dans un contexte non stationnaire, comme il est précisé dans le rapport d'activité du GDR [1].

Au sein du groupe, les mots « adaptatif » et « évolutif » se réfèrent à deux approches différentes des phénomènes non stationnaires, approches qui sont détaillées par exemple en [2]. Le premier terme suppose la non stationnarité assez lente pour qu'on puisse la traiter localement : sur un horizon assez bref, les signaux sont décrits par des paramètres fixes qu'il faudra estimer. L'estimation « adaptative » doit alors suivre au cours du temps les plages de quasi-stationnarité. Le terme évolutif implique au contraire une structure qui décrit globalement les variations des paramètres des signaux. Celles-ci peuvent donc être rapides.

Le présent article s'insère dans l'approche « adaptative » : des algorithmes d'estimation de paramètres, conçus dans un contexte strictement stationnaire, sont appliqués à un contexte non stationnaire moyennant l'introduction dans l'algorithme d'un paramètre scalaire dit « oubli ». Cette méthode a pour elle l'avantage d'une grande simplicité conceptuelle. Elle est la plus couramment employée par les utilisateurs d'algorithmes de traitement du signal.

Les algorithmes adaptatifs étant regroupés en deux grandes classes : les gradients et les algorithmes de moindres carrés, c'est une opinion couramment admise que les

moindres carrés, connus pour leur meilleure vitesse de convergence, sont de ce fait supérieurs aux gradients dans un contexte non stationnaire, sujet aux variations. Cette opinion ne faisant pas l'unanimité au sein de notre groupe de travail, s'est tout naturellement posée la question de classer les performances des uns par rapport aux autres, selon les types de non stationnarités rencontrées. Tel est l'objet du présent document qui constitue l'aboutissement de l'un des projets du groupe de travail cité.

Les algorithmes adaptatifs considérés dans le présent travail sont destinés à atteindre en temps réel l'optimisation d'un certain **filtre linéaire**  $\mathcal{H}$  travaillant dans un contexte déterminé. Ils présentent les trois caractéristiques principales suivantes :

1. l'optimisation du filtre est effectuée **récurivement** au cours du temps, une nouvelle estimation  $\mathcal{H}_n$  du filtre  $\mathcal{H}$  étant calculée à chaque instant  $n$  à partir des données observées dans le passé et des données nouvelles à l'instant  $n$  ;

2. dans un contexte fixe, ne présentant pas de variations temporelles, le filtre  $\mathcal{H}_n$  est capable d'atteindre l'optimalité. C'est la propriété dite d'**acquisition** ;

3. dans un contexte non stationnaire, le filtre  $\mathcal{H}_n$  fournit une optimisation qui s'adapte au contexte et varie au cours du temps. C'est la propriété de **poursuite**.

Bien entendu, les non stationnarités sont de plusieurs types : les « **ruptures** » (**R**) qui sont occasionnelles et qu'il faut « acquérir » au plus vite ; et les non stationnarités permanentes qu'il faut « poursuivre » et qui peuvent être soit **permanentes déterministes** (PD), soit **permanentes aléatoires** (PA).

De plus, les algorithmes d'adaptation ne

sont pas tous destinés à résoudre le même problème. Il peut s'agir de l'**identification directe (ID)** d'un filtre inconnu dont on connaît l'entrée de référence et la sortie correspondante bruitée. On pourra alors reproduire la sortie non bruitée du modèle de filtre. Il peut aussi s'agir d'identifier un modèle de filtre sans référence sur son entrée, ce qui se fait par **prédiction (P)**. Il peut enfin s'agir de corriger l'effet de distorsion d'un filtre dont on connaît l'entrée de référence et la sortie associée bruitée et c'est un problème d'**identification inverse (II)**...

En fonction des problèmes à résoudre, des types de non stationnarités et des algorithmes d'adaptation, le présent travail fait un inventaire, et, dans chaque cas, conclut à la supériorité de l'un ou l'autre type d'algorithme : gradient ou moindres carrés. Une telle synthèse bien ordonnée n'a pu se faire qu'en se répartissant entre chercheurs les situations à considérer, l'ensemble se complétant assez bien. C'est pourquoi le premier chapitre propose des notations et des concepts utilisables pour les trois problèmes typiques (ID), (P) et (II) et pour les trois non stationnarités de type (R), (PD) et (PA).

La suppression adaptative d'écho ou de bruit avec voie de référence illustre le problème (ID). Elle est traitée dans un contexte acoustique par A. Gilloire (chap. II.1) avec des applications en téléconférence et en téléphonie mains-libres. Les non stationnarités sont plutôt du type (R) et les moindres carrés se révèlent supérieurs pour ces applications de parole.

Ce même problème (ID) est considéré dans un contexte mécanique par Ch. Servière (chap. II.2) pour l'élimination de vibrations dont on possède une référence. Le filtre adaptatif y est réalisé dans le domaine fréquentiel. Les non stationnarités sont de type (PD) et il apparaît que le gradient et les moindres carrés ont des performances comparables.

La restitution de signaux sinusoïdaux bruités est l'un des grands problèmes du traitement du signal. Sans référence sur la raie à restituer elle peut se faire par pré-

tion (P), qui devient adaptative en contexte non stationnaire. C'est là l'objet du chapitre III. Tout d'abord O. Macchi (Chap. III.1) présente le cas des non stationnarités permanentes (PD) avec des applications possibles en radar pour les signaux dont la fréquence dérive. Puis C. Nebout et F. Castanié (chap. III.2) présentent le cas des ruptures (R) de fréquence avec une application en avionique pour un système d'aide à l'atterrissage. Dans le premier cas il est montré que c'est l'algorithme du gradient qui surclasse les moindres carrés, et dans le deuxième cas, c'est l'inverse.

Le chapitre IV de G. Favier, R. Settineri, J. Boudy s'attarde sur le problème de prédiction (P), dans le but de modéliser un signal dont on observe seulement une réalisation. C'est aussi un problème fondamental du traitement du signal. La structure de filtre en treillis, faite d'une cascade de cellules simples et identiques, y est retenue pour son architecture modulaire. Même si ce chapitre ne détaille pas d'application particulière, on sait que la compression de l'information en est un sous-produit très important, par exemple le codage de la parole ou de l'image. Le chapitre traite des non stationnarités du type (R) et les algorithmes présentés, gradient ou moindres carrés, sont modifiés pour atteindre à une acquisition plus rapide, le choix entre les deux types d'adaptation dépendant des performances à atteindre.

Finalement, le problème (II) d'identification inverse est illustré par le chapitre V de P. Bragard dans le contexte de la transmission de données sur un canal sous-marin. Il s'agit de propagation à trajets multiples, donc d'un modèle général, les non stationnarités agissant sur le retard, l'atténuation et le déphasage entre trajets. Elles sont soit de type (PD) soit de type (R) et se traitent mieux par les algorithmes de gradient et de moindres carrés respectivement.

Parmi les exemples considérés dans ce travail, aucun n'illustre de non stationnarité permanente de type aléatoire (PA). C'est que les premières comparaisons entre algorithmes de gradient et de moindres carrés ont été effectuées précisément dans ce cas-

là, et d'ailleurs uniquement dans ce cas-là. On trouve donc déjà des résultats à ce propos dans la littérature [3]-[5]. Ils sont tout à fait semblables à ceux obtenus dans ce rapport pour les non stationnarités permanentes déterministes (PD) : la supériorité des moindres carrés sur le gradient dépend des paramètres du contexte, dont les plus pertinents sont le niveau de bruit et la vitesse des non stationnarités, l'augmentation du niveau de bruit jouant en la faveur des algorithmes de gradient. C'est là une réponse à la controverse indiquée en commençant : les algorithmes de gradient peuvent effectivement, suivant les cas, surclasser les moindres carrés dans le cas de non stationnarités permanentes (P).

Cette conclusion ne s'applique en rien aux non stationnarités de rupture (R), pour lesquelles, indépendamment du niveau de bruit, les moindres carrés surclassent toujours le gradient.

Sans donc prétendre avoir épuisé le sujet de la comparaison des algorithmes adaptatifs en contexte non stationnaire, tous les auteurs de ce travail coordonné ont l'espoir que l'union conjuguée de leurs efforts donnera à leur ami lecteur de la Revue TS le sentiment d'une clarification dans le foisonnement actuel des algorithmes adaptatifs proposés et de meilleures armes pour ses propres choix d'algorithmes en présence de problèmes non stationnaires.

Que les auteurs de cet article trouvent ici l'expression de remerciements du Groupement de Recherche TDSI pour le précieux travail de coordination qu'ils ont mené et dont cet article de synthèse, le premier publié par le GDR, est l'aboutissement.

Que Christine Servière soit également remerciée pour avoir bien voulu coordonner toute la bibliographie.

N.B. Les références bibliographiques se trouvent en page 386.