

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

COMPARAISON DES PERFORMANCES DE DIVERS DETECTEURS A CRITERE DE DISTANCE
POUR UN SIGNAL TRANSITOIRE MAL CONNU BRUTE

Jean-Jacques BELLANGER

Pierre-Yves ARQUES

Laboratoire de Traitement du Signal - UNIVERSITE DE RENNES I - CAMPUS DE BEAULIEU - 35042 RENNES CEDEX

RESUME

SUMMARY

On présente les performances de plusieurs détecteurs d'un signal transitoire mal connu dans un bruit stationnaire mal connu. Ces systèmes ont une structure imposée mettant en oeuvre un critère de distance entre un vecteur observation et une référence ; ils se distinguent par le choix du vecteur observation et de la référence.

Performances of several detectors of transient signals among stationary noise are described, signal and noise being incompletely known. These systems have a given structure and they apply a distance criterion between an observation vector and a reference vector ; various structures exist depending on the choice of these vectors.



COMPARAISON DES PERFORMANCES DE DIVERS DETECTEURS A CRITERE DE DISTANCE
POUR UN SIGNAL TRANSITOIRE MAL CONNU BRUITE

1 - STRUCTURE GENERALE CONSIDEREE

On a précédemment présenté [1], pour la détection continue d'un signal transitoire dans un bruit en ambiance d'information réduite, une structure conçue dans l'optique d'un modèle à structure imposée et à critère de contraste [2] ; le critère de détection mis en oeuvre est un cas particulier du "critère de distance" (cf [3], [2]). Cette structure engendre, par l'intermédiaire des différents éléments laissés libres, divers systèmes de détection dont on veut tester les performances. Elle appartient en fait à une famille un peu plus large que l'on étudiera par ailleurs.

On rappelle les conditions posées à la détection : la fonction d'entrée observée est réelle, monodimensionnelle (une entrée). Le signal éventuel, de durée brève, est de date d'arrivée inconnue sur un intervalle d'observation d'amplitude grande ou même infinie ; son observation est perturbée par un bruit parasite ; on cherche à détecter la présence du signal "en temps réel" c'est-à-dire, à un retard près considéré comme négligeable, dès la fin de présence du signal. Le bruit et le signal sont additifs et contenus dans une bande sinon étroite du moins peu large ; le bruit, supposé stationnaire, a la quantité T pour période moyenne ; le signal, bref, rarement présent, a une durée T_s de l'ordre de $3T/2$ (il occupe environ trois demi-périodes en moyenne). La forme du signal, mal connue, a été choisie pour l'expérimentation conformément à la figure 1 (cette information n'est pas utilisée dans la mise en oeuvre des détecteurs).

La structure générale des détecteurs testés est schématisée figure 2. Elle est caractérisée de la façon suivante ("structure imposée") :

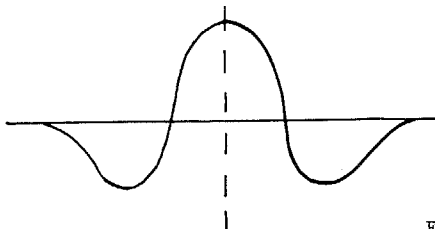


Figure 1

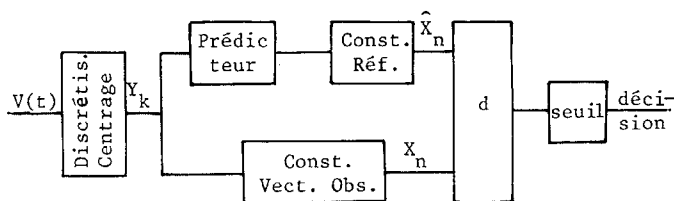


Figure 2

● On extrait de la fonction d'entrée une observation discrète centrée Y_k jugée compatible avec les hypothèses sur le signal (et le bruit) et les contraintes du problème. De manière en partie différente de [1], ce sera ici

- la suite des intervalles T_k entre zéros de la fonction d'entrée (T_k est l'intervalle entre le $k^{\text{ème}}$ et le $(k+1)^{\text{ème}}$ zéros),

- la suite des amplitudes V_k de la fonction d'entrée, extraites par échantillonnage périodique, de période θ fixée a priori.

Le centrage des Y_k a été effectué par estimation préalable de la moyenne sur une fenêtre de durée θ_M extraite de l'échantillon testé.

● On définit, à l'instant t_n , un vecteur d'observation X_n sous forme d'une tranche de l'observation discrétisée et centrée précédente ; le vecteur X_n , tel que son transposé $\hat{X}_n = (Y_{n-q+1}, \dots, Y_n)$, est d'ordre q , s'écrivant en tenant compte du choix effectué précédemment :

$$\hat{X}_n = (T_{n-q+1}, \dots, T_n)$$

ou

$$\hat{X}_n = (V_{n-q+1}, \dots, V_n).$$

● A chaque vecteur d'observation X_n on fait correspondre, sous l'hypothèse H_0 , une "référence observation" \hat{X}_n constituée, de manière plus large que dans [1], par une prédiction de X_n ou par la valeur moyenne -nulle ici- de X_n , et censée représenter en t_n le bruit parasite, indépendamment du signal éventuellement présent. On choisit une distance d dans l'espace des réalisations du vecteur X . Pour l'hypothèse H_0 , est donc attachée, à chaque X_n , la valeur $d(X_n, \hat{X}_n)$ de la distance de X_n à sa référence. La décision en t_n , selon le critère de distance d'observation, est alors engendrée par le test suivant :

$$\text{"choix de } H_0 \text{" si } d(X_n, \hat{X}_n) \leq \kappa$$

$$\text{"rejet de } H_0 \text{" si } d(X_n, \hat{X}_n) > \kappa.$$

La suite des instants de décision t_n est choisie en coïncidence ou avec la suite des zéros du processus d'entrée ou avec la suite des instants d'échantillonnage, selon le mode de discrétisation choisi.

A chaque instant t_n on s'impose :

- de construire éventuellement, par prédiction, tout ou partie de la référence \hat{X}_n , à partir de l'observation discrétisée : les prédicteurs travaillent sur des observations à des instants précédant le ou les instants suivants à prédiction.

- de construire les éléments intervenant dans le

COMPARAISON DES PERFORMANCES DE DIVERS DETECTEURS A CRITERE DE DISTANCE
POUR UN SIGNAL TRANSITOIRE MAL CONNU BRUIE

prédicteur ou la pondération de la distance : il s'agit de prédire ou d'estimer (diverses politiques sont possibles selon que l'on exclue ou inclue dans l'élaboration les valeurs aux instants du vecteur d'observation en cause) diverses matrices de corrélation centrée ou d'intercorrélacion centrée (par exemple $\Gamma_{X_n}(q,q)$ -matrice de corrélation centrée du vecteur d'observation X_n , ou $\Gamma_{X_n X_{n-1}}(q,q)$ -matrice d'intercorrélacion centrée entre X_n et X_{n-1}) ; les estimateurs ou prédicteurs utilisés sont rékursifs avec initialisation préalable sur une fenêtre donnée Θ_c .

• La hauteur α du seuil de décision auquel on compare la quantité $d(X_n, \hat{X}_n)$ est déterminée au moyen d'une contrainte complémentaire lorsque les différents paramètres intervenant dans $d(X_n, \hat{X}_n)$ sont fixés (probabilité ou taux de fausse alarme donné par exemple).

Les différents choix encore possibles dans ce cadre conditionnent les performances du système : nature de l'information discrétisée, taille du vecteur observation, nature et obtention de la référence observation, nature et obtention de la distance.

2 - STRUCTURES TESTEES

On a testé pour les deux types d'information discrétisée trois types de détecteurs différents en jouant sur les natures de référence et de distance ; les performances en sont comparées à celles d'un détecteur témoin.

• Détecteur MDP

Nature de la référence : valeur moyenne du bruit parasite ; elle est nulle, compte tenu du centrage de l'information discrète. On a $\hat{X}_n = (0, \dots, 0)$.

Distance utilisée : distance euclidienne pondérée dont le carré est $d^2(X_n, \hat{X}_n) = (\tilde{X}_n - \hat{X}_n) (\hat{\Gamma}_{X_n})^{-1} (X_n - \hat{X}_n) = \tilde{X}_n (\hat{\Gamma}_{X_n})^{-1} X_n$.

On obtient une formule analogue à celle définissant le test de Hotelling.

• Détecteur PDE

Nature de la référence : prédiction continue du bruit parasite.

Prédicteur utilisé : estimateur linéaire monosortie en t_n ; la valeur prédite est :

$$\hat{Y}_{n+1} = \hat{\Gamma}_{Y_{n+1}} Z_n (\hat{\Gamma}_{Z_n})^{-1} Z_n$$

où $\tilde{Z}_n = (Y_{n-m_p+1}, \dots, Y_n)$ et où Γ_{Z_n} et $\Gamma_{Y_{n+1} Z_n}$ sont les (m_p, m_p) - et $(1, m_p)$ -matrices de corrélation centrées de Z_n d'une part et entre Y_{n+1} et Z_n d'autre part.
On a : $\tilde{X}_n = (\hat{Y}_{n-q+1}, \dots, \hat{Y}_n)$.

Distance utilisée : distance euclidienne non pondérée :

$$d^2(X_n, \hat{X}_n) = (\tilde{X}_n - \hat{X}_n) (X_n - \hat{X}_n)$$

• Détecteur PDP

Nature de la référence : prédiction continue du bruit parasite.

Prédicteur utilisé : estimateur linéaire à q sorties tel que, en t_n , \hat{X}_{n+1} est prédit globalement :

$$\hat{X}_{n+1} = \hat{\Gamma}_{X_{n+1} X_n} (\hat{\Gamma}_{X_n})^{-1} X_n$$

Distance utilisée : distance euclidienne pondérée :

$$d^2(X_n, \hat{X}_n) = (\tilde{X}_n - \hat{X}_n) (\hat{\Gamma}_{(X_n - \hat{X}_n)})^{-1} (X_n - \hat{X}_n)$$

avec

$$\hat{\Gamma}_{(X_n - \hat{X}_n)} = \hat{\Gamma}_{X_n} - \hat{\Gamma}_{X_n X_{n-1}} (\hat{\Gamma}_{X_{n-1}})^{-1} \hat{\Gamma}_{X_{n-1} X_n}$$

• Détecteur-témoin FAD

Filtre adapté, au signal utilisé dans l'expérimentation, dans le bruit de matrice de corrélation estimée $\hat{\Gamma}_{X_n}$, et travaillant sur X_n .

3 - RESULTATS OBTENUS

Pour chacun des trois détecteurs à tester avec chacun des deux types d'information discrétisée (T ou V) ainsi que pour le détecteur-témoin avec l'information "amplitude" (V), on trace les courbes COR modifiées : probabilité de détection en fonction du taux de fausse alarme. Celles ci sont obtenues par simulation sur calculateur à partir d'enregistrements de bruit réel auxquels on superpose artificiellement un signal à certains instants connus : les sept systèmes comptent, dans les mêmes conditions, les détections et les fausses alarmes ; est comptabilisé pour une fausse alarme tout ensemble de dépassements du seuil intervenant, en absence de signal, sur une fenêtre de longueur q débutant par un dépassement ; est comptabilisé pour une détection tout ensemble de dépassements du seuil intervenant dans la fenêtre de présence du signal. Ces courbes COR-m sont présentées pour 1 ou 3 rapports signal sur bruit typiques sur les figures 3 à 8 : chaque figure comporte, outre la ou les courbes COR-m d'un détecteur à tester (3 : MDP-T ; 4 : MDP-V ; 5 : PDE-T ; 6 : PDE-V ; 7 : PDP-T ; 8 : PDP-V), la ou les courbes COR-m du détecteur témoin (FAD-V).

Les conclusions qualitatives découlent de l'examen des figures précédentes. Le détecteur-témoin n'est pas forcément supérieur aux systèmes testés : travaillant sur X_n il ne peut utiliser l'intercorrélacion entre X_n et les Y_i le précédant. Les détecteurs à observation



COMPARAISON DES PERFORMANCES DE DIVERS DETECTEURS A CRITERE DE DISTANCE
POUR UN SIGNAL TRANSITOIRE MAL CONNU BRUTE

"amplitudes" (V) sont supérieurs à leur homologue à observation "zéros" (T). Les systèmes à prédiction (non complètement comparables entre eux) apparaissent supérieurs au système MDP.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BELLANGER J.-J., ARQUES P.-Y. : Une méthode d'utilisation des passages par zéro et des maxima pour la détection d'un signal transitoire. Actes du Colloque National sur le Traitement du Signal et ses Applications, Nice Avril 1977 (GRETSI), p. 21/1.
- [2] ARQUES P.-Y. : Décisions en Traitement du Signal. Masson, Paris, 1979.
- [3] ARQUES P.-Y. : Application en détection d'un critère de minimalisation de distance d'observation. Actes du Colloque National sur le Traitement du Signal et ses Applications, Nice Juin 1975 (GRETSI), p. 447.

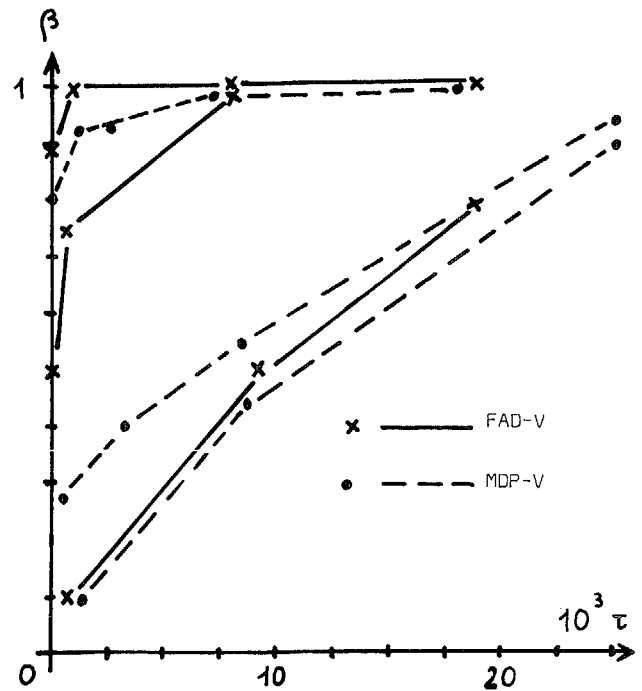


Figure 4 : Système MDP-V, S/B = 0 dB, -6 dB, -12 dB.

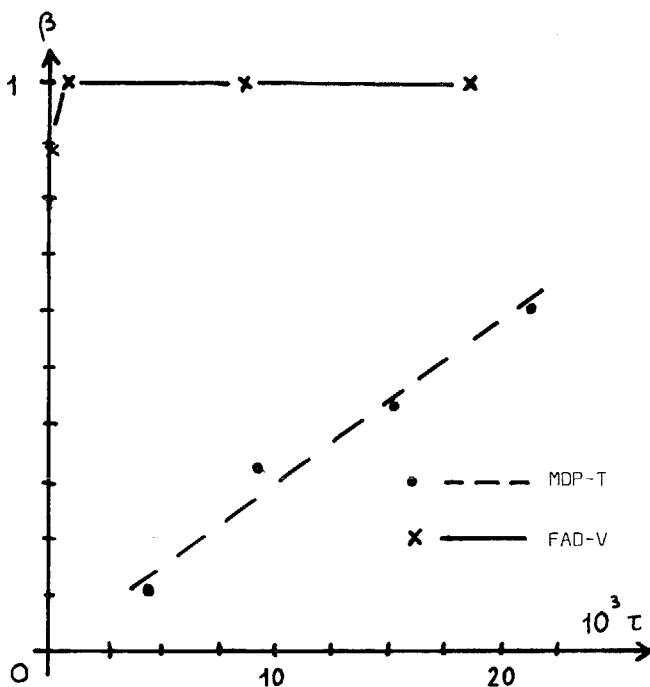


Figure 3 : Système MDP-T, S/B = 0 dB.

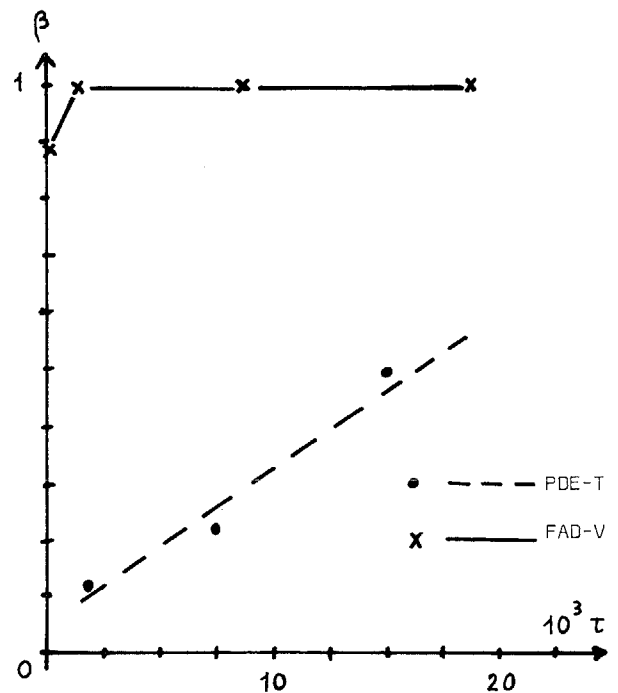


Figure 5 : Système PDE-T, S/B = 0 dB.

COMPARAISON DES PERFORMANCES DE DIVERS DETECTEURS A CRITERE DE DISTANCE
POUR UN SIGNAL TRANSITOIRE MAL CONNU BRUITE

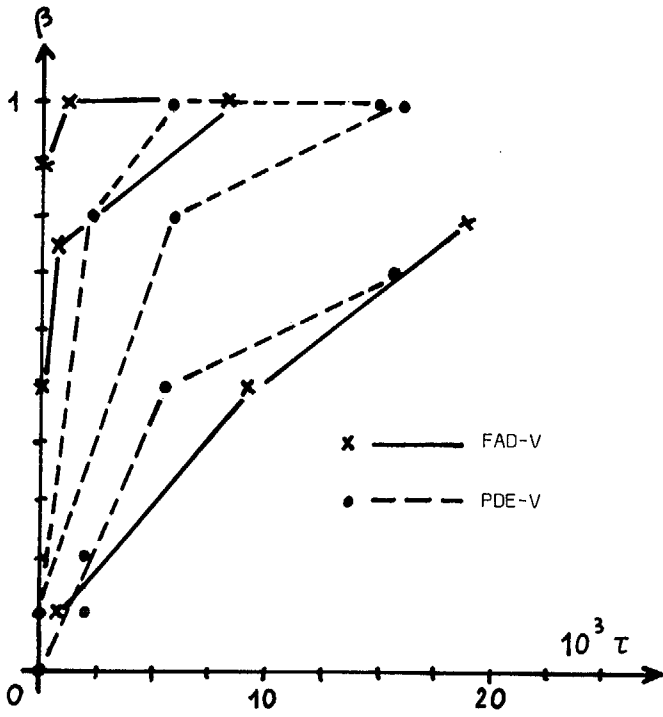


Figure 6 : Système PDE-V, S/B=0 db, -6 dB, -12 dB.

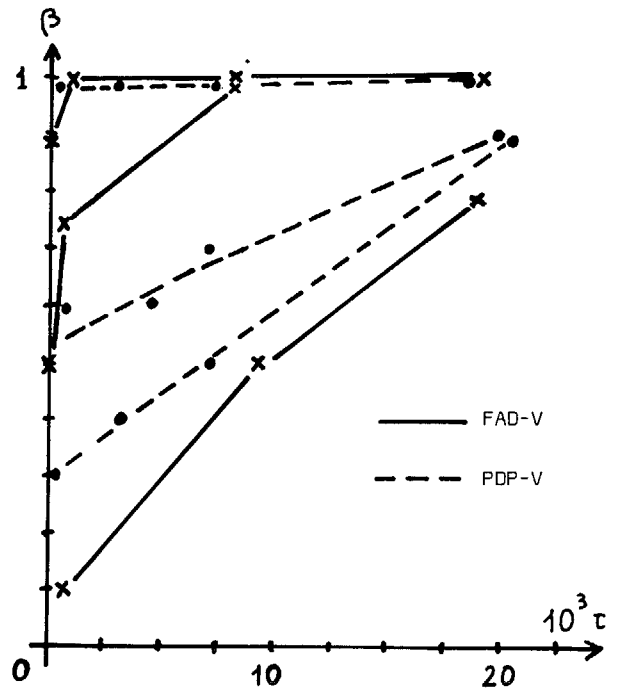


Figure 8 : Système PDP-V, S/B=0 dB, -6 dB, -12 dB.

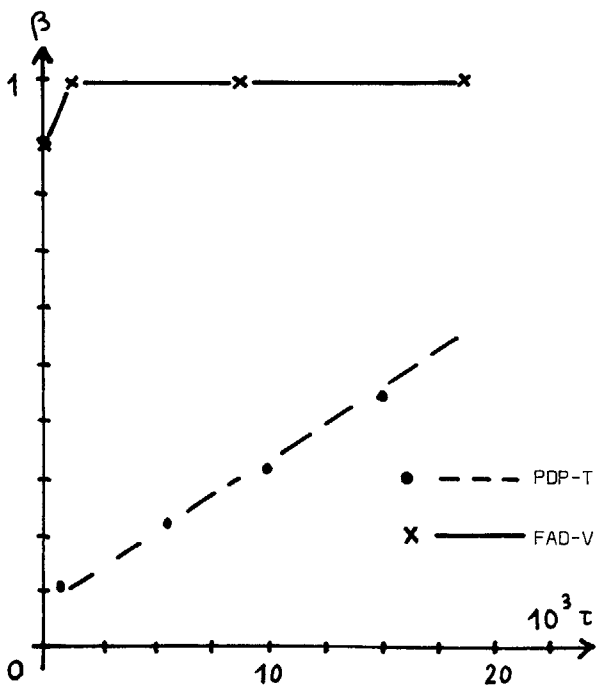


Figure 7 : Système PDP-T, S/B=0 dB.

