

DIXIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

1083



NICE du 20 au 24 MAI 1985

SYSTEME D'ATTERRISSAGE TRSB-MLS.SEPARATION D'ECHOS PROCHES

BOIS Jean-Michel

GAPSE/ENSEEIH 2 rue Camichel . 31071 TOULOUSE cedex

RESUME

Un nouveau système de guidage tout temps lors de l'atterrissage des avions civils est actuellement en cours de développement.C'est le système TRSB-MLS (Time Reference Scanning Beam-Microwave Landing System) en remplacement du système ILS actuel.

Il se pose un problème d'analyse du signal de codage angulaire en bande de base reçu par l'avion.Ce signal est constitué par deux impulsions,bruitées et perturbées par des réflexions parasites.

L'article propose et analyse un certain nombre de techniques de détection et de séparation d'échos,et en particulier pour des échos proches.On rappelle les limitations de l'intercorrélation et du filtre adapté. Le cepstre est comparé avec une méthode d'identification par un filtre à réponse impulsionnelle finie et une méthode de déconvolution.Ces méthodes sont appliquées au signal MLS et leur sensibilité au bruit est évoquée.

SUMMARY

The Time Reference Scanning Beam (TRSB) Microwave Landing System (MLS) was chosen by the International Civil Aviation Organization to be the future landing guidance system.The TRSB-MLS is currently designed.

This paper analyses the signal received by the plane in flight.Angular position of an aircraft is measured by receiving ground generated narrow fan beam which scans "To" and "Fro" across the coverage sector. The time between the "To" pulse and the "Fro" pulse is directly proportional to the aircraft's angular position.

The MLS signal is perturbed by multipath signals.Several techniques of detection and separation are tested:cross-correlation,matched filter and divergent adaptive filter for detection;cepstrum,FIR filter identification and deconvolution about a criterion resolution.



I INTRODUCTION

Le codage angulaire de l'avion repose dans le systeme TRSB-MLS sur le principe du faisceau battant. Une antenne à balayage électronique génère un faisceau étroit qui effectue un aller et retour dans la zone de couverture.

Une antenne balaye l'espace horizontalement et fournit l'information azimuth; une autre balaye verticalement pour la coordonnée site. L'avion voit donc passer pour chaque antenne le lobe principal du faisceau, dans le sens aller et quelques instants plus tard, dans le sens retour. Le temps entre les deux pics est directement proportionnel à l'angle.

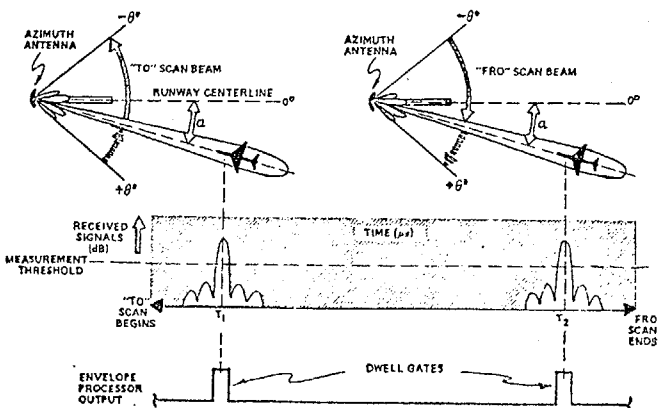
Le signal de balayage MLS est donc constitué par deux impulsions séparées par des lobes secondaires et du bruit. Il peut se rajouter à ce signal, des échos dus à des réflexions parasites.

Le problème est de détecter l'ensemble des pics, direct ou parasites et d'en faire une analyse. En particulier, de déterminer si les lobes principaux sont perturbés par des échos et par quels échos. L'analyse se fait sur une seule séquence. La seule information est le module du signal et le nombre d'échantillon est relativement faible (30 pour le lobe principal).

Nous proposons une analyse en deux temps. Tout d'abord l'ensemble du signal de balayage est traité et segmenté. Les pics ou ensemble de pics difficilement séparables sont isolés. Le critère de sélection des méthodes numériques à utiliser est la capacité de détection. Puis, chaque segment est analysé plus finement par des méthodes à fort pouvoir séparateur.

Le chapitre II présentera les techniques de détection testées c'est à dire l'ébasage, le filtre adapté et l'intercorrélation et le filtre adaptatif divergent. Au chapitre III, les méthodes de séparation d'échos proches proposées seront le cepstre, l'identification par un filtre RIF et une méthode de déconvolution. Les simulations et commentaires sur ces méthodes seront traités au chapitre IV. Le chapitre V conclura et indiquera les axes actuels en développement.

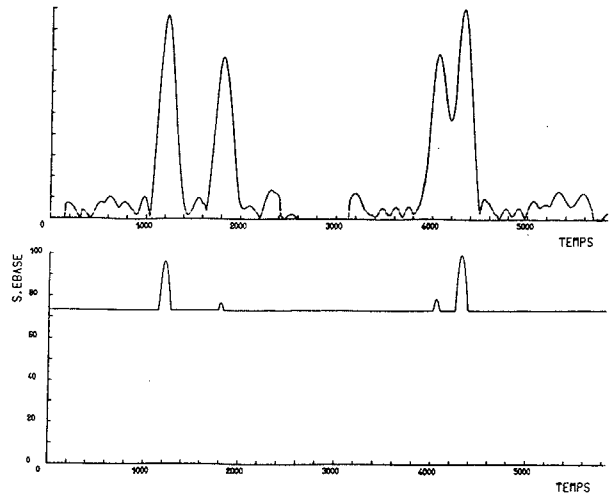
ANGLE MEASUREMENT TECHNIQUE



II DETECTION DES ECHOS ET SEGMENTATION

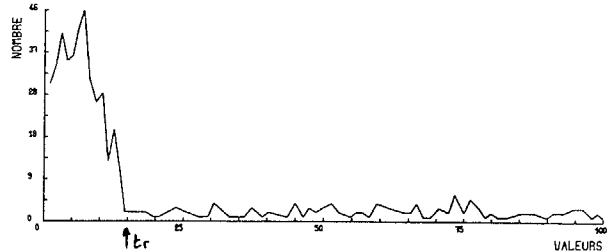
II.1 Ebasage

La méthode la plus simple est l'ébasage. Le seuil est placé au-dessus du niveau de bruit. Les pics émergents sont isolés du bruit. Une technique de recherche de maximas est alors mise en oeuvre. Une première analyse permet d'éliminer les pics qui ne sont pas des lobes principaux, figure 2.



Les critères caractérisants les échos peuvent être énoncés. En particulier, la position angulaire de la surface réfléchissante doit être dans la zone couverte par le balayage et les coefficients de l'écho aller et de l'écho retour sont identiques si ces pics ne sont pas perturbés par un autre pic trop proche.

La détermination du seuil peut-être facilitée par le calcul de l'histogramme des valeurs du signal MLS. Le pic pour les basses valeurs correspond au niveau du bruit. Le seuil peut-être fixé à la transition (t_r), figure 3.



II.2 Filtre adapté

La méthode par ébasage ne tient pas compte d'une information a priori qui est la forme du signal que l'on recherche, c'est à dire le lobe principal. Il semble donc intéressant d'utiliser un filtre adapté permettant d'extraire un motif connu d'un signal bruité par un bruit blanc.

Malheureusement, une étude antérieure a montré que le signal est loin d'être blanc. Cela se conçoit puisque le "bruit" que l'on analyse est, en fait, constitué par les lobes secondaires de l'antenne, en plus des bruits électroniques classiques.

Ces lobes sont irrégulier et non modélisables a priori. L'intensité des sources rayonnantes et les déphasages assurant le balayage sont entachés d'erreurs aléatoires.

La figure 4 donne un exemple de "bruit" simulé. Les erreurs sur les déphaseurs génèrent accidentellement des lobes secondaires ayant des formes similaires aux lobes principaux.

Le filtre adapté donne donc des résultats médiocres et difficilement interprétables. figure 5.

L'intercorrélation donne des résultats similaires. Sa formulation est proche du filtre adapté.

Le calcul du filtre optimal est par ailleurs difficilement envisageable, vu la complexité de la modélisation théorique de l'antenne.

II.3 Filtre divergent

Une méthode originale est proposée par (1). Elle utilise un filtre prédictif adaptatif divergent. L'instabilité d'un algorithme adaptatif lors d'une non-stationnarité est recherchée. L'erreur de prédiction prend alors des valeurs élevées par rapport à celles de la zone stationnaire.

Le filtre, optimal pour le "bruit", diverge sur l'écho.

La figure 5 compare le filtre adapté et le filtre divergent pour un écho dans le "bruit" MLS.

Pour le "bruit" formant le signal stationnaire simulé figure 4, le rapport de détection exprimé par:

$$10 \log(\text{ampli. max. écho} / \text{puissance bruit})$$

peut descendre jusqu'à 1db avec un filtre divergent.

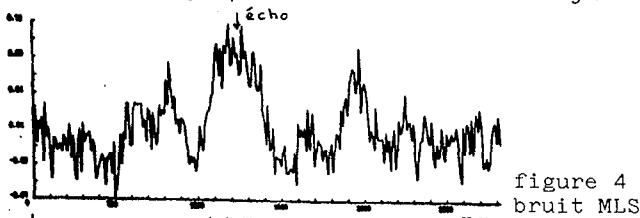


figure 4
bruit MLS

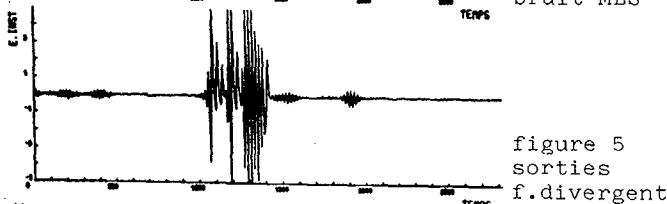
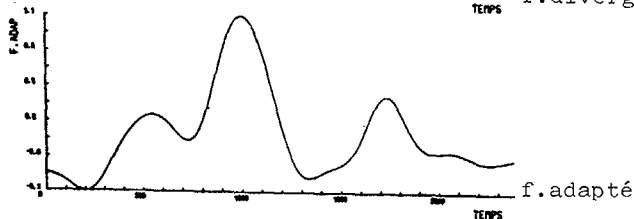


figure 5
sorties
f. divergent



f. adapté

II.4 Remarques sur ces méthodes

Ces méthodes ont une finalité de détection. Leur pouvoir séparateur est faible. On considère classiquement que les échos doivent être séparés d'au moins une demi-largeur de lobe à mi-hauteur. Pour le filtre adaptatif divergent, ce pouvoir est d'environ un quart de largeur (1). Ceci est encore insuffisant pour une analyse fine. Rappelons ici l'importance de ces échos proches dans le système MLS, système fondé sur la chronométrie entre deux impulsions.

III SEPARATION D'ECHOS PROCHES

Une première analyse a donc permis de détecter des pics non-réductibles en lobes. Ces pics, isolés, sont maintenant traités.

III.1 Cepstre d'énergie

La méthode classique d'analyse d'échos proches est le cepstre. On se reportera à (2) pour plus d'informations. Rappelons seulement que le cepstre est la transformée de Fourier inverse du log népérien du module de la transformée de Fourier directe. Le cepstre est constitué par un pic à l'origine et une série de raies équidistantes entre elles et avec le pic origine du retard de l'écho. La philosophie étant de dilater les fréquences pour contracter les pics temporels.

Le pouvoir séparateur théorique est excellent. Mais deux limitations apparaissent. D'une part, il est difficile de démêler plus de 3 séries de raies.

La deuxième limitation est due à la sensibilité de la méthode au bruit. Hassab et Boucher (3) ont montré que la sensibilité n'est pas liée au rapport signal sur bruit, mais à la répartition des spectres du signal et du bruit. Plus est importante la bande de fréquences pour laquelle la densité spectrale du signal est supérieure à celle du bruit, meilleur est l'estimation.

III.2 Identification par un filtre RIF

On cherche à décomposer le signal X(t) à analyser en combinaison linéaire de N lobes principaux atténués et retardés.

$$\hat{X}(t) = \sum_{i=1}^N w_i f(t - i\Delta\tau)$$

ce qui revient à identifier le signal X(t) à un filtre non-récurif d'ordre N, d'entrée f(t).

On choisit de minimiser le critère de l'erreur quadratique moyenne.

$$E(\epsilon^2) = E[(X(t) - \hat{X}(t))^2]$$

On aboutit à l'équation de Wiener-Hopf

$$R W = P$$

avec R matrice de corrélation du signal f(t)
W matrice colonne des coefficients w du filtre
P matrice d'intercorrélation (X, f)

L'ordre est égal au nombre d'échantillons de retards possibles.

La matrice W donne donc pour chaque retard, l'amplitude relative de l'écho. S'il n'y a, par exemple, que deux lobes imbriqués, l'ensemble des w sera proche de zéro, sauf deux d'entre-eux, le nombre de coefficients entre donnant le retard en échantillons de l'un par rapport à l'autre.

Il n'y a pas de limitation en nombres d'échos admissibles, la seule contrainte étant que l'ordre N soit suffisamment grand pour englober tous les échos possibles.



III.3 Déconvolution

On suppose que le signal X(t) est identifiable par un filtre rationnel de réponse impulsionnelle

$$H_X(z) = \frac{1 + \sum_{i=1}^q b_i z^{-i}}{1 + \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}}$$

Si le lobe principal est modélisable par un filtre récursif

$$H_P(z) = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^p a_j z^{-j}}$$

alors

$$H_X(z) = H_P(z) \cdot (1 + \sum_{i=1}^q b_i z^{-i})$$

Nous décomposons ainsi le signal X(t) en combinaison linéaire de q lobes principaux retardés et atténués (bi).

Nous cherchons donc dans un premier temps un modèle récursif Hp(z). Puis, le signal X(t) est passé dans le filtre inverse Hp(z). On obtient en sortie une série de raies d'amplitudes bi.

IV APPLICATION DES METHODES DE SEPARATION

La figure 6 montre le cepstre d'un signal composé d'un lobe principal et d'un écho en avance de 13 échantillons, d'amplitude 0.8, sans bruit. On voit la série de raies alternativement positives et négatives. Les amplitudes ne sont pas respectées.

On peut séparer jusqu'à un échantillon de décalage. Par contre, l'amplitude relative de l'écho doit rester supérieure à 0.1.

Pour le signal MLS, la condition sur les spectres signal et bruit n'est pas remplie. Les résultats sur un signal bruité sont mauvais. Pour un bruit additionnel blanc, le rapport signal/bruit doit être supérieur à 60 db pour que le cepstre soit utilisable.

Un exemple d'identification par un filtre RIF est présenté figure 7. Le signal est constitué par un lobe et un écho ayant une avance de un échantillon et une amplitude relative de 0.2, sans bruit. La méthode donne d'excellent résultats. Le niveau pour les autres coefficients est à moins de 0.01.

D'autre part, les retards non-entiers sont bien analysés

Malheureusement, les perturbations créées par un bruit blanc additionnel sont très importantes pour un SNR en deça de 90 db, ce qui est inadmissible.

La figure 8 donne un exemple de déconvolution. Le modèle récursif du lobe principal sur 60 échantillons est d'ordre 18. Le signal analysé est constitué par le lobe principal et deux échos à 10 (15) échantillons et 0.5 (0.8) d'amplitude.

Les trois pics sont bien détectés. Mais là encore l'influence du bruit est considérable. Il faut au moins un SNR de 60 db.

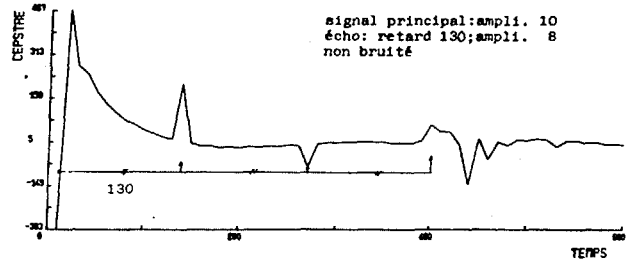
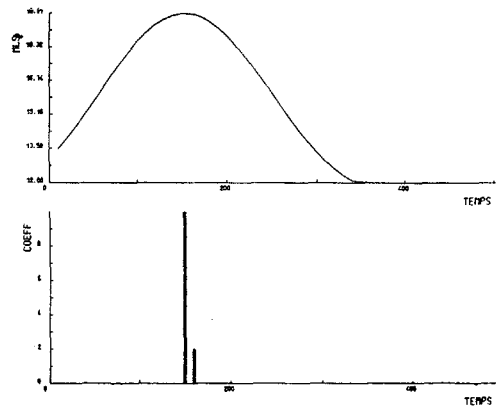


figure 6. Cepstre d'un lobe et d'un écho



COEFF DE WIENER

-.114E-02	-.270E-01	.313E-03	.574E-01	.223E-01
-.130E-01	-.609E-01	-.501E-01	.532E-01	.548E-01
-.237E-01	-.207E-01	-.135E-02	.586E-02	10.0
2.00	-.389E-03	.353E-03	.264E-03	-.272E-03
.177E-03	.157E-03	.105E-03	.610E-04	.195E-04
-.292E-04	-.429E-04	-.934E-04	-.144E-03	-.199E-03
-.255E-03	.470E-03	-.140E-03	.375E-04	-.104E-03
-.283E-03	.284E-03	-.119E-03	.108E-02	.190E-01
-.182E-01	-.423E-01	.154E-01	.229E-01	.481E-01
.873E-02	-.713E-01	-.203E-01	.340E-01	.338E-02

figure 7. Coefficients du filtre RIF pour un lobe et un écho

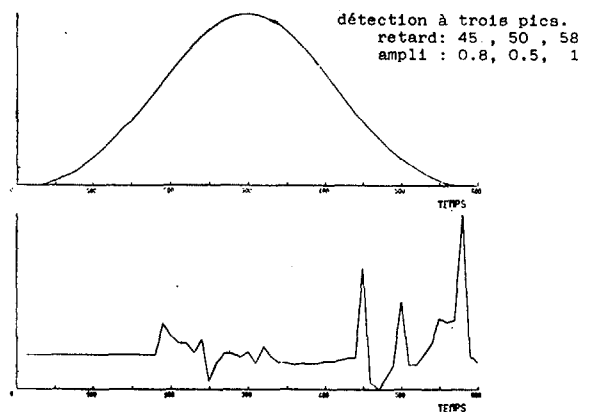


figure 8. Sortie impulsionnelle de la déconvolution d'un lobe et de deux échos

V CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'analyse en deux temps, détection, séparation a été dictée par le signal MLS à étudier et par les diverses caractéristiques des méthodes numériques.

La détection permet une segmentation du signal global avant séparation des échos. Dans cette première phase, l'ébasage est assisté par un histogramme des valeurs. Le filtre adapté ou l'intercorrélation semblent peu intéressants dans notre cas. Le filtre adaptatif divergent, optimal sur la partie "bruit" stationnaire, est instable sur un écho. Ces résultats sont excellents en détection et meilleur que le filtre adapté en résolution.

Néanmoins, la deuxième phase est nécessaire du fait de l'importance des échos dans le système MLS. Le cepstre est limité à 2 ou 3 échos imbriqués. Par contre, l'identification par un filtre RIF et la déconvolution n'ont pas cette limitation. De plus, l'identification permet de retrouver l'amplitude des échos. Mais ces trois méthodes sont beaucoup trop sensibles au bruit.

L'étude se poursuit dans trois voies. Une amélioration du rapport s/b pour la déconvolution par une meilleure modélisation et pour l'identification par diverses méthodes: sur la matrice de corrélation $R(4)$, et sur une variante de la méthode de Steiglitz.

D'autres techniques seraient à tester. Le domaine "Time delay" est vaste. Mais une limitation importante dans notre étude est le petit nombre d'échantillons dont l'on dispose.

Enfin, une troisième voie pour l'analyse du signal MLS consiste à prendre plusieurs séquences de balayage. Un calcul dépendant de la vitesse de l'avion, de la vitesse de balayage de l'antenne, ... montre que l'on peut travailler sur une dizaine de séquences successives sans problèmes.

Ce travail a été financé par le Service Technique de la Navigation Aérienne du Ministère Français des Transports.

Références

- (1) BOIS J-M
"Analyse et modélisation du signal MLS. Séparation d'échos". Thèse de docteur-ingénieur. GAPSE/INP Toulouse. mars 85.
- (2) BALLUET
"Les opérateurs cepstres. Application à la séparation d'échos rapprochés". Thèse de docteur-ingénieur. INP. Grenoble. fev 79.
- (3) HASSAB-BOUCHER
"a probabilistic analysis on time delay extraction by the cepstrum in stationary gaussian noise" IEEE. Information Theory. 22. n°4. 1976.
- (4) KAY
"Noise compensation for AR spectral estimates". pp292-303. IEEE, ASSP. vol 28. n°3. june 80.

