

HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1^{er} au 5 JUIN 1981

FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS
MULTIPLES SIMULTANÉES
AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS
MULTIPLE TRANSMISSION

G. BIENVENU, D. PILLON et P. TOURNOIS

THOMSON-C.S.F., Division des Activités Sous-Marines, Chemin des Travaux, B.P. 53
06802 CAGNES-sur-MER - France

RESUME

Si les transducteurs d'une antenne émettent simultanément des codes différents séparables par filtrage, dits de ce fait orthogonaux, l'insonification de l'espace est anisotrope ou "colorée" puisque à chaque direction correspond un signal particulier. A la réception, on effectue une formation de voie comme dans un système classique. Puis, pour chaque voie formée, on sépare par filtrage adapté à chacun d'eux les différents signaux émis et on effectue alors une formation de voie analogue à la formation de voie à l'émission : on peut alors espérer un gain par rapport au système classique dû à la multiplication des diagrammes de directivité d'émission et de réception.

En fait, si l'on étudie à l'aide de la fonction d'ambiguïté en distance et en angle, les performances de ces systèmes vis à vis de la réverbération, on montre alors que l'émission "colorée" est équivalente à l'émission classique omnidirectionnelle utilisant la même bande.

On présente des fonctions d'ambiguïté pour différents cas d'émission colorée et on les compare à celles du système classique correspondant.

SUMMARY

If the transducers of an array transmit simultaneously different orthogonal signals, the insonified space is anisotropic or "coloured", since at each direction corresponds a particular signal.

At receiver end, classical beamforming is performed. Next, for each formed beam, each different transmit signals are separated with matched filters. Then a beamforming analogous to a classical transmitting beamforming, is performed. A resulting gain equal to the product of the transmit-receive antenna patterns can be expected.

In fact, by using the range-angle ambiguity function, it is shown that coloured and classical systems in the same bandwidth have the same performance in presence of clutter.

Ambiguity function for different coloured transmission cases are shown, and compared to those of the corresponding classical systems.



INTRODUCTION.

Si les transducteurs d'une antenne émettent des signaux différents simultanément, l'espace insonifié est "coloré" car le signal émis dans chaque direction est différent. En réception, on effectue une formation de voie classique comme dans le cas d'une émission omnidirectionnelle conventionnelle. Ensuite, chaque sortie de voie est traitée par un filtre adapté au signal particulier transmis dans la direction de la voie considérée. On compare les performances de ce procédé à celles de l'émission classique au moyen des fonctions d'ambiguïté.

1. - PRINCIPE GENERAL. [1]

1.1. Emission classique et émission colorée.

Soit un ensemble de N transducteurs omnidirectionnels d'émission notés E_j , j allant de 1 à N placés à différents points de l'espace à 3 dimensions. Si l'on emploie le terme transducteur, c'est que la description du principe qui va suivre, se place préférentiellement dans le domaine de l'imagerie acoustique. Il est clair que l'on peut transposer ces considérations à d'autres domaines comme le radar par exemple.

Ces N transducteurs émettent simultanément N codes $C_j(t)$ de durée T que l'on suppose séparables par filtrage linéaire.

On suppose que l'antenne et les cibles sont fixes. C'est donc dans une situation où l'effet Doppler est inexistant que vont être analysées les performances de ce principe d'émission très différent des systèmes classiques. Classiquement, en effet, on émet en un point unique E , un signal unique $C(t)$: dans le champ ainsi insonifié, un point P_i recevra alors le signal :

$$S_{P_i}(t) = c(t-\tau) \quad (1)$$

τ étant le temps de propagation de l'onde entre E et P_i . Ce signal ne dépend que de la distance EP_i : il est invariant par rotation par rapport à E . L'émission classique omnidirectionnelle crée un champ isotrope en amplitude et en phase.

Dans le cas d'une émission simultanée par chaque transducteur de codes distincts, le champ insonifié est isotrope en énergie mais anisotrope en phase. En effet, le signal $S_{P_i}(t)$ est formé de la somme des codes $C_j(t)$ affectés de retards différents caractéristiques de la

position du point P_i :

$$S_{P_i}(t) = \sum_{j=1}^N C_j(t - \tau_{ij}) \quad (2)$$

où τ_{ij} est le temps de propagation entre l'émetteur E_j et le point P_i . On voit donc que le signal reçu en un point de l'espace dépend de la position de ce point : on qualifiera ce type d'émission de "colorée".

Les deux types d'émission sont schématisés sur la Fig. 1.

1.2. Traitement de réception.

Le traitement de réception du système à émission colorée s'effectue en deux parties comme l'indique le schéma de la Fig. 2a. L'une d'elle est identique à la formation de voie classique. En effet, le point P_i réfléchit le signal $S_{P_i}(t)$ qui est reçu sur les N transducteurs avec les mêmes retards que le signal $C(t)$ lorsque le point P_i est insonifié par l'émission classique. A la sortie de cette formation de voie, le traitement classique effectue simplement la corrélation du signal obtenu avec une copie du signal émis $C(t)$, quelle que soit la direction de cette voie. Dans le cas de l'émission colorée, le signal obtenu dépend du point P_i visé. En fait, ce signal est toujours constitué du mélange des N mêmes signaux $C_k(t)$ mais affectés de retards caractéristiques du point P_i . Si l'on corrèle le signal $S_{P_i}(t)$ par chacun des codes élémentaires $C_k(t)$, on retrouve à la sortie du corrélateur par le code $c_k(t)$, les codes étant supposés séparables, l'auto-corrélation du code $C_k(t)$, affectée du retard à l'émission entre le transducteur qui a émis $c_k(t)$ et le point P_i . Si l'on remet en phase les N auto-corrélations en compensant les retards émission et si l'on en fait la somme, on a en quelque sorte effectué en réception une formation de voie émission. Ces opérations constituent la deuxième partie du traitement de réception du système à émission "colorée". Il faut remarquer qu'elles sont tout simplement équivalentes à la corrélation du signal issu de la formation de voie réception classique par la copie du signal $S_{P_i}(t)$ qui correspond au point P_i visé. (Fig. 2b).

1.3. Comparaison des émissions classique et colorée.

On a vu au paragraphe précédent que le traitement d'antenne à émission colorée bénéficie de la même formation de voie de réception que le traitement classique, et en plus d'une sorte de formation de voie émission effectuée à la réception. Si les codes émis sur les différents transducteurs étaient identiques, alors on aurait une formation de voie à l'émission : on cumule dans ce cas les directivités émission et réception, ce qui se traduit par un gain sur la définition angulaire et la réverbération, gain égal à deux si les pupilles émission et réception sont identiques, cas que l'on

FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
SIMULTANEEES
AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS MULTIPLE
TRANSMISSIONS

considère ici. Mais l'insonification n'est pas dans ce cas omnidirectionnelle. L'émission colorée permet une insonification omnidirectionnelle tout en conservant une formation de voie émission, différente cependant de la précédente puisque l'on ne rajoute pas en phase des signaux identiques, mais des codes différents. Il est intéressant donc de voir quel est le gain réel qu'apporte l'émission colorée sur la définition angulaire et la réverbération.

Ce gain se mesure dans les deux cas par la fonction d'ambiguïté angle-distance du traitement (on rappelle que l'on s'intéresse à une situation sans Döppler). Cette fonction est égale au module du signal de sortie du traitement adapté à un point P_i lorsque le système reçoit les signaux en provenance d'un point P_j . Soit $\chi(\vec{\theta}_i, \vec{\theta}_j, d_i, d_j)$ cette fonction où $\vec{\theta}_i$ représente les paramètres direction du point P_i et d_i sa distance. Pour une cible ponctuelle située en P_i , en présence de réverbération uniforme, le rapport signal à réverbération s'écrit :

$$\frac{S}{R} = \frac{\chi^2(\vec{\theta}_i, \vec{\theta}_i, d_i, d_i)}{\int_D \chi^2(\vec{\theta}_i, \vec{\theta}_j, d_i, d_j) d(\vec{\theta}_j) d(d_j)} \quad (3)$$

$\chi^2(\vec{\theta}_i, \vec{\theta}_i, d_i, d_i)$ représente la puissance instantanée maximum en provenance de la cible.

$\int_D \chi^2(\vec{\theta}_i, \vec{\theta}_j, d_i, d_j) d(\vec{\theta}_j) d(d_j)$ représente la puissance de réverbération ramenée sur la cible, D étant un domaine d'intégration délimité par les dimensions de la fonction d'ambiguïté.

Les performances en résolution se déduisent directement de la fonction d'ambiguïté.

On exprime aussi souvent cette fonction à partir des coordonnées du point P_i visé, et on l'écrit : $\chi(\vec{\theta}, d)$, $\vec{\theta}$ et d désignant l'écart entre les coordonnées des points P_i et P_j .

La puissance de réverbération ramenée au point P_i par les diffuseurs qui se trouvent dans la direction $\vec{\theta}$ seulement s'écrit :

$$D(\vec{\theta}) = \int \chi^2(\vec{\theta}, d) d(d) \quad (4)$$

On appellera cette fonction de $\vec{\theta}$ la directivité efficace dans la réverbération.

2. CHOIX DU TYPE DE CODE.

2.1. Code orthogonal dans la même bande.

L'émission colorée nécessite donc l'emploi de N codes séparables par filtrage adapté. Le premier grand type de code qui vient à l'esprit est celui des codes dit orthogonaux dans la même bande. Ce peut être par exemple une famille de codes PSK. Ces codes ont une densité spectrale énergétique pratiquement constante dans la bande B.

Si l'on se préoccupe du filtrage adapté de ces codes, il faut non seulement s'intéresser à l'auto-corrélation de chaque code mais aussi aux intercorrélations pour tout couple $c_i(t)$ et $c_j(t)$. Le pic d'auto-corrélation aura une largeur $1/B$ et l'inter-corrélation sera un plateau plus ou moins plat de durée T. (Fig. 3 cas de FM croisés.

Du point de vue énergétique, si l'on considère l'énergie de l'auto et l'inter-corrélation, on constate que celles-ci sont à peu près du même ordre. Si on appelle $\gamma_i(f)$ et $\gamma_j(f)$ les densités spectrales respectives de $c_i(t)$ et $c_j(t)$, on aura :

$$E_{ij} = \int_{-B/2}^{B/2} \gamma_i(f) \times \gamma_j(f) df \quad (5)$$

où E_{ij} représente l'énergie du signal $c_j(t)$ filtré par le filtre adapté à $c_i(t)$. Si $\gamma_i(f)$ et $\gamma_j(f)$ sont approximativement égales à une constante sur la bande B alors les énergies d'auto et d'intercorrélations sont comparables.

Donc ces codes sont bien séparables par filtrage, mais l'énergie renvoyée par le milieu réverbérant, elle, n'est pas séparée. A la sortie du corrélateur C_j , l'énergie d'intercorrélations sera N-1 fois celle de l'auto-corrélation. Par rapport au système classique n'émettant qu'un des codes, utilisant donc la même bande et où le problème de l'intercorrélations ne se pose pas, l'image sera moins contrastée ; l'intercorrélations amènera plus d'énergie que l'autocorrélations qui seule est intéressante.

Ce type de codes ne semble donc pas a priori performant vis à vis de la réverbération.

2.2. Codes fortement orthogonaux.

Si l'on veut des codes qui soient effectivement orthogonaux, vis à vis de la réverbération, il faut que l'énergie des intercorrélations soit négligeable : on les appellera pour cette raison codes fortement orthogonaux.

La formule (5) permet facilement de les construire. Il faut en effet que :

$$\gamma_i(f) \times \gamma_j(f) \approx 0 \quad \forall f \in \left[-\frac{B}{2}, \frac{B}{2}\right] \quad (6)$$

ce qui entraîne qu'au moins l'une des deux soit nulle à une fréquence donnée.

Le codage le plus souple pour satisfaire cette condition est réalisé par des impulsions à fréquences pures séparées de $\Delta f > \frac{1}{T}$ (Figure 4). Ce type de code semble a priori plus performant que le précédent vis-à-vis de la réverbération.



FONCTIONS D'AMBIGUÏTE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
SIMULTANÉES

AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS MULTIPLE
TRANSMISSIONS

3. - COMPARAISONS DES SYSTEMES CLASSIQUES ET COLORES.

3.1. Hypothèses et descriptions des cas étudiés.

Cette comparaison sera faite dans le cas simple d'une antenne linéaire de 12 transducteurs équidistants, la distance entre deux capteurs adjacents étant égale à une demi-longueur d'onde. On considère un milieu réduit au plan qui contient cette antenne où tout (antenne, cible) est fixe. La cible considérée à l'infini (pas de focalisation) est ponctuelle, et parfaitement réfléchissante. La propagation est rectiligne. La fonction d'ambiguïté ne dépend donc que de deux paramètres : le gisement θ et le temps t (équivalent à la distance).

Les performances de trois configurations d'antenne pour l'émission colorée ont été étudiées. Dans le premier cas l'émission se fait par les 12 émetteurs de l'antenne linéaire et la réception sur un seul récepteur. Dans le deuxième cas, l'émission se fait toujours par les 12 transducteurs, mais la réception se fait sur les mêmes transducteurs. Enfin, on a étudié le cas plus spécifique d'une émission par les deux transducteurs situés aux extrémités de l'antenne, la réception s'effectuant sur les 12 transducteurs. Ces trois cas ont été comparés au moyen de la fonction d'ambiguïté, aux systèmes classiques qui utilisent la même bande, c'est-à-dire soit la somme des codes si ceux-ci sont fortement orthogonaux, soit un des codes $c_j(t)$ si les codes sont dans la même bande.

3.2. Cas 12 émetteurs - 1 récepteur codés FP.

Dans ce paragraphe, les paramètres des systèmes simulés sont les suivants :

- nombre de capteurs $N = 12$
- fréquence centrale des codes : 5000 Hz
- codes émis : douze impulsions à fréquence pure f_1, \dots, f_{12} , séparées du même $\Delta f = 1/T$, d'où $\Delta f = 10$ Hz
- durée de l'impulsion : $T = 100$ ms

On n'étudiera ici que la voie normale à l'antenne, les résultats étant analogues pour d'autres voies.

3.2.1. Système classique équivalent.

La Figure 6 montre la fonction d'ambiguïté obtenue pour l'antenne classique émettant la somme des codes c'est-à-dire le code :

$$c(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \left(\sum_{i=1}^{12} e^{2\pi j f_i t} \right) \quad \text{avec } f_i = f_0 + i\Delta f$$

dont l'enveloppe est une fonction du type $\left(\frac{\sin Nx}{\sin x}\right)$. Cette fonction d'ambiguïté (Fig. 5) appelle quelques remarques :

- . La coupe $\chi(0,t)$ est l'impulsion comprimée

. La coupe $\chi(\theta,0)$ est la directivité de l'antenne classique linéaire du type $\left(\frac{\sin Nx}{\sin x}\right)$ avec $x = \frac{d \sin \theta}{\lambda}$

. La fonction d'ambiguïté est symétrique par rapport à l'axe : $t = 0$. Cette symétrie angulaire est d'ailleurs une propriété générale de la fonction d'ambiguïté spatiale [2].

3.2.2. Antenne colorée fréquences réparties linéairement.

Si on étudie maintenant l'antenne colorée émettant avec le transducteur i l'impulsion à la fréquence f_i , on obtient alors l'ambiguïté représentée par les Fig. 6. On constate alors qu'à cette répartition linéaire des fréquences le long de l'antenne, correspond une fonction présentant une forte ambiguïté selon un axe passant par l'origine.

Pour reprendre les mêmes remarques qu'au paragraphe précédent, on peut constater que :

- . La coupe $\chi(0,t)$ est évidemment la même que dans le cas classique équivalent,
- . La coupe $\chi(\theta,0)$ est aussi la même c'est-à-dire égale à la directivité du sonar classique,
- . Mais la propriété de symétrie par rapport à l'axe $\theta = 0$ n'existe plus.

La directivité efficace est constante, ce qui s'explique par la forte ambiguïté angle-distance. Donc l'énergie filtrée spatialement par ce système est la même quelle que soit la direction. Cette ambiguïté totale entre l'angle et la distance rend impossible l'estimation de la position d'une cible. On a donc fait non pas l'équivalent du système classique à N récepteurs, mais celui du système classique omnidirectionnel aussi bien en émission qu'en réception.

3.2.3. Antenne colorée : fréquences réparties aléatoirement.

Les codes fréquences pures peuvent être répartis le long de l'antenne suivant un ordre quelconque. Pour une répartition donnée, on obtient par exemple la fonction d'ambiguïté de la Fig. 7 : la forte ambiguïté angle-distance n'est plus concentrée sur un axe mais est répartie aléatoirement. Cette fonction possède exactement les mêmes coupes pour $\theta = 0$ et $t = 0$, et la même directivité efficace que la précédente. Ce système d'émission colorée ne gagne donc rien contre la réverbération par rapport au système classique émission-réception omnidirectionnelles. Il est possible cependant de localiser une cible ponctuelle.



FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
SIMULTANEEES
AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS MULTIPLE
TRANSMISSIONS

3.2.4. Propriété générale de la directivité efficace de l'émission colorée.

On démontre dans ce paragraphe la propriété de constance de la directivité efficace du système d'émission colorée avec réception sur un transducteur omnidirectionnel.

Le signal émis dans la direction θ s'écrit (Fig.1)

$$C_{\theta}(t) = \sum_k C_k [t - \tau_k(\theta)]$$

Il est reçu sur le capteur de réception et traité par le corrélateur adapté à une direction donnée θ_i . Il est donc corrélé avec le signal :

$$S_i(t) = \sum_k C_k [t - \tau_k(\theta_i)]$$

On obtient le signal :

$$y_i(t, \theta) = \int C_{\theta}(u) S_i(t-u) du$$

Son énergie est égale à :

$$E(\theta) = \int y_i^2(t, \theta) dt = \int \gamma_{y_i}(f, \theta) df$$

où $\gamma_{y_i}(f, \theta)$ est la densité spectrale de $y_i(t, \theta)$.

On a, si $Y_i(f, \theta)$, $C_{\theta}(f)$, $S_i(f)$ et $C_k(f)$ désignent respectivement les transformées de Fourier de $y_i(t, \theta)$, $C_{\theta}(t)$, $S_o(t)$ et $C_k(t)$:

$$\begin{aligned} \gamma_{y_i}(f, \theta) &= |C_{\theta}(f)|^2 |S_i(f)|^2 \\ |S_i(f)|^2 &= \sum_k \sum_n C_k(f) e^{-2\pi j f \tau_k(\theta_i)} C_n^*(f) e^{2\pi j f \tau_n(\theta_i)} \\ |C_{\theta}(f)|^2 &= \sum_k \sum_n C_k(f) e^{-2\pi j f \tau_k(\theta)} C_n^*(f) e^{2\pi j f \tau_n(\theta)} \end{aligned}$$

Les signaux étant à spectres disjoints, on a :

$$C_k(f) C_n^*(f) = 0 \quad \text{pour } k \neq n$$

$$D'où : \gamma_{y_i}(f, \theta) = \left[\sum_k |C_k(f)|^2 \right]^2$$

Donc $E(\theta)$ est indépendante de θ : le niveau de réverbération est le même quelle que soit la direction, comme si l'on avait effectué une émission omnidirectionnelle. Il n'y a aucun effet de directivité émission pour la réverbération.

3.3. Cas d'une antenne à 12 émetteurs, 12 récepteurs codés FP.

Dans ce paragraphe, on étudie le cas où la réception se fait sur les 12 capteurs de l'antenne. La comparaison s'effectue avec le même traitement classique que le précédent qui a bien la même pupille de réception, et la même bande que l'émission colorée (le signal émis omnidirectionnellement est la somme des 12 impulsions à fréquence pure).

3.3.1. Antenne colorée, répartition linéaire des fréquences.

On considère d'abord le cas de la répartition linéaire des fréquences le long de l'antenne. La fonction d'ambiguïté obtenue (Fig. 8) possède la même coupe en temps pour $\theta=0$ que le système classique. La coupe pour $t=0$ présente un pic plus fin que celle obtenue par un système classique. Mais la directivité efficace, et le rapport signal à réverbération, sont les mêmes que ceux du système classique. Le pic central de la fonction d'ambiguïté a la même forme que celui du système classique, mais est orienté différemment.

3.3.2. Antenne colorée, répartition aléatoire des codes F.P.

Avec une répartition aléatoire à l'émission des codes à fréquence pure, identique à celle du § 3.2.3., on obtient la fonction d'ambiguïté représentée sur la Fig. 9. Cette fonction possède la même directivité efficace que la précédente, et bien sûr les mêmes coupes pour $\theta=0$ et $t=0$. On n'a donc rien gagné contre la réverbération bien que le pic central de la fonction d'ambiguïté soit plus fin que celui du système classique : il est bien équivalent à celui d'un système qui cumule les directivités classiques émission et réception, mais la fonction d'ambiguïté possède un "plateau" qui entoure le pic central plus élevé.

L'équivalence des performances dans la réverbération des émissions classique et colorée, peut être facilement démontrée dans le cas général de codes fortement orthogonaux quelle que soit leur répartition sur l'antenne, de façon analogue à la démonstration du § 3.2.4.

3.4. Cas particulier de deux émetteurs - N récepteurs.

On présente dans ce paragraphe les résultats obtenus en n'utilisant comme émetteurs que les deux transducteurs situés aux extrémités de l'antenne.

3.4.1. Codes à fréquence pure.

On a étudié tout d'abord les performances pour 2 codes fréquences pures séparées de $12\Delta f$. Il y a donc des battements entre ces deux fréquences séparées de plus de $1/T$. C'est ce qu'illustre la fonction $\chi(\theta, t)$ de la Fig. 10. La directivité efficace et le rapport signal à réverbération sont équivalents à ceux du système classique qui émet la somme des deux codes.

3.4.2. Codes FM linéaires croisés.

Pour illustrer un cas d'utilisation de codes dans la même bande, on a calculé l'ambiguïté obtenue avec 2 codes FM up et down de $BT = 60$ dans la bande 40 kHz



FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
SIMULTANEEES
AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS
MULTIPLE TRANSMISSION

autour de 400 kHz. Comme le montre la coupe $\chi(0,t)$ (Fig. 11a), ces codes entraînent la formation d'un "plateau" dû à l'intercorrélation des deux codes. Si l'on étudie le rapport signal à réverbération, on constate que celui-ci varie avec la direction de la voie formée (Tableau 1) de façon quasi-périodique comme si des interférences avaient été produites. Ce rapport est égal en moyenne à celui obtenu avec le système classique qui émet un seul des codes FM.

Si l'on compare les coupes $\chi(\theta,0)$ des deux systèmes Fig. 12a et 12b, on s'aperçoit que le système à émission colorée possède un meilleur diagramme que le système classique, plus fin d'un facteur deux environ. Les mêmes performances en réverbération proviennent du "plateau" en temps élevé que possède le système à émission colorée (Fig. 11a) par rapport à celui du système classique (Fig. 11b).

4. - CONCLUSION.

On a comparé divers types de systèmes à émission colorée au système classique à émission omnidirectionnelle qui utilise un signal de même durée et de même bande que la bande totale de l'émission colorée.

Les résultats montrent que l'on peut parvenir à obtenir avec l'émission colorée une fonction d'ambiguïté qui possède un pic central équivalent à celui que l'on aurait avec un système directif en réception et en émission. Mais ce pic central est entouré d'un "plateau" plus élevé que celui de la fonction d'ambiguïté du système classique, si bien que les volumes des deux fonctions sont égaux.

En conséquence, les rapports signal à réverbération sont identiques pour les deux systèmes, et donc l'émission colorée n'apporte pas de gain contre la réverbération par rapport au système classique.

REFERENCES

- [1] P. TOURNOIS "Acoustical imaging via coherent reception of spatially coloured transmission" Tenth International Symposium on Acoustical Imaging Octobre 80 Cannes (France)
- [2] H. URKOWITZ and al "Generalized resolution in radar system" Proc. IRE vol 50, pp 2093-2105, 1962

Type de système	Classique 1 pulse FM	Colorée FM croisés					Classique 2 FM croisés
		-3°	0°	2°	4°	6°	
Direction de voie formée/normale à l'antenne	0°	-3°	0°	2°	4°	6°	0°
Rapport signal à réverbération	$3,5 \times 10^{-2}$	$3,36 \times 10^{-2}$	$3,73 \times 10^{-2}$	$3,38 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-2}$	$3,64 \times 10^{-2}$	$2,43 \times 10^{-2}$

FM croisé, BT = 60

- TABLEAU 1 -

FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES SIMULTANEEES
 AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS MULTIPLE TRANSMISSIONS

Fig. 1 - Système d'émission colorée 1-a et classique 1-b

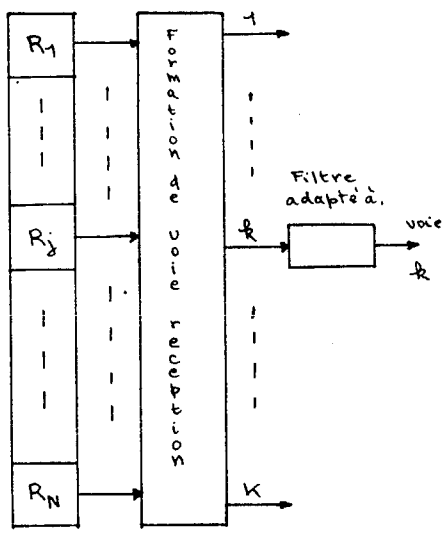
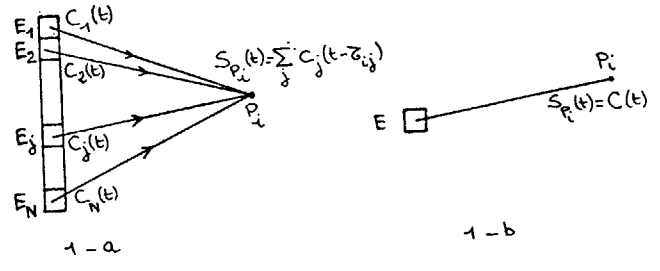


Fig. 2b -

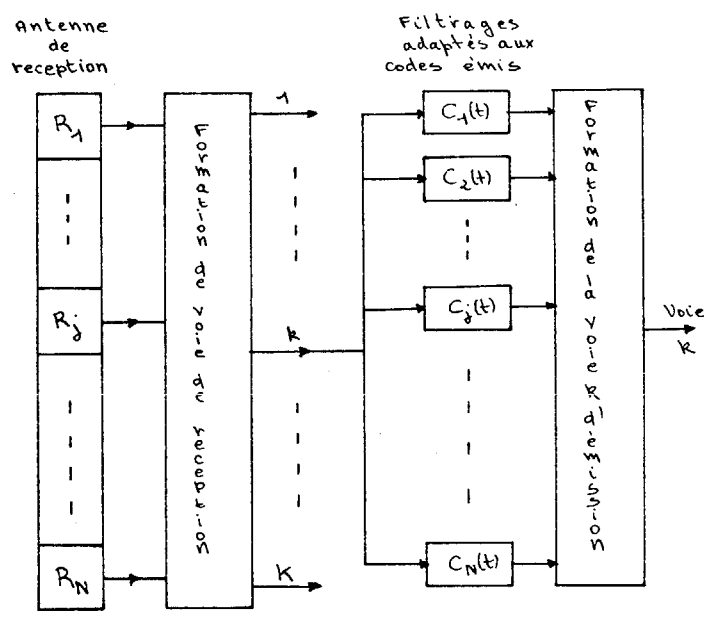


Fig. 2a -

Fig. 2 - Traitement de réception colorée

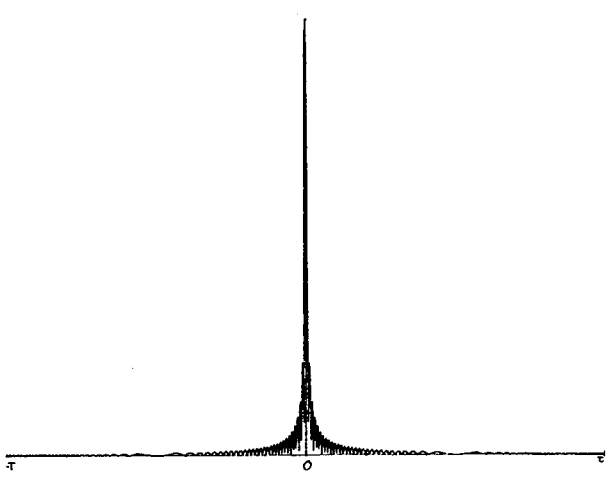


Fig. 3a - Autocorrélation d'un pulse FM

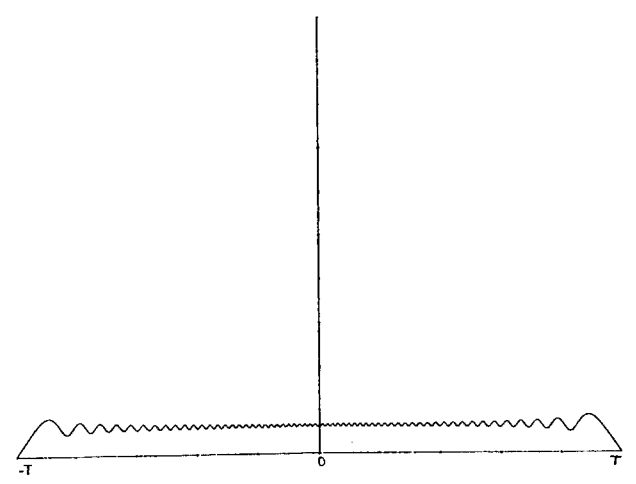


Fig. 3b - Intercorrélation des 2 pulses

Fig. 3 - Codes FM croisés



FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
 SIMULTANEEES
 AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS
 MULTIPLE TRANSMISSION

Fig. 4 - Exemple de codes à spectre disjoint :
 Spectre d'impulsion fréquences pures de
 durée T

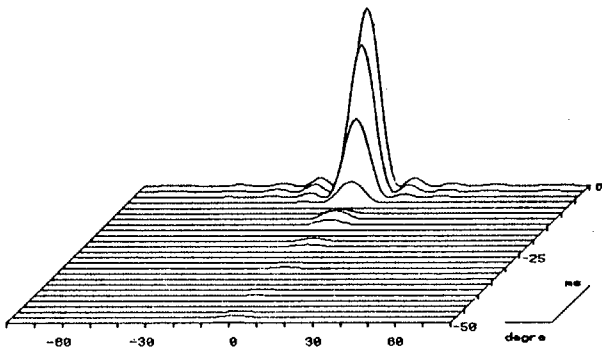
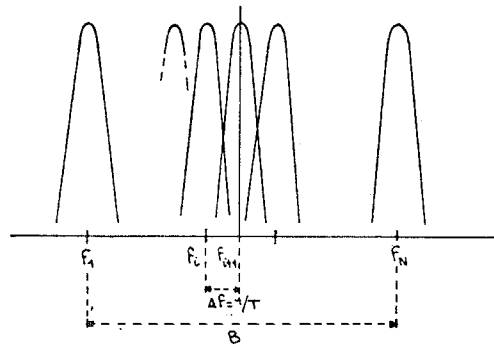


Fig. 5a - Vue perspective de $\chi^2(\theta, t)$

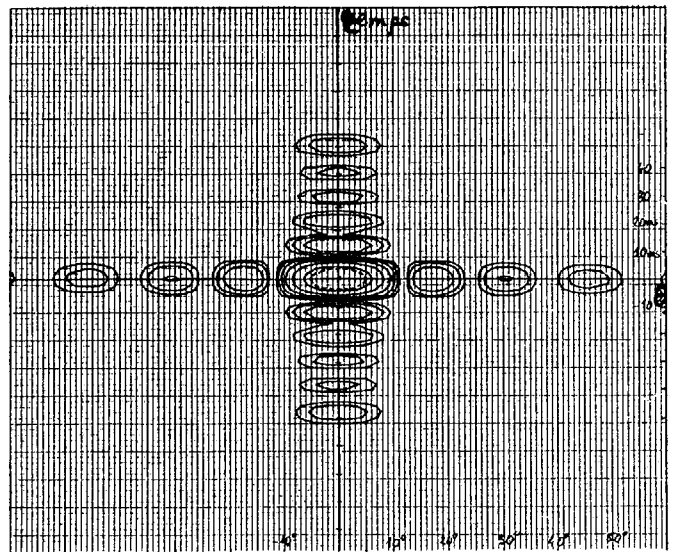


Fig. 5b - Lignes de niveau séparées de 4 dB de -4 dB à -24 dB (-3 dB ligne en pointillé)

Fig. 5 - $\chi^2(\theta, t)$ pour une antenne classique multifréquence

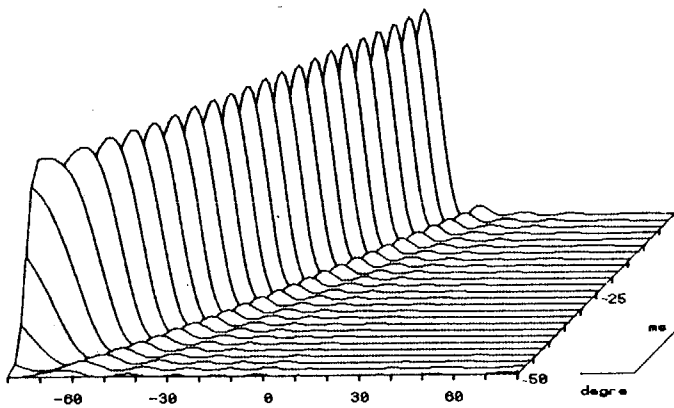


Fig. 6a - Perspective cavalière de $\chi^2(\theta, t)$

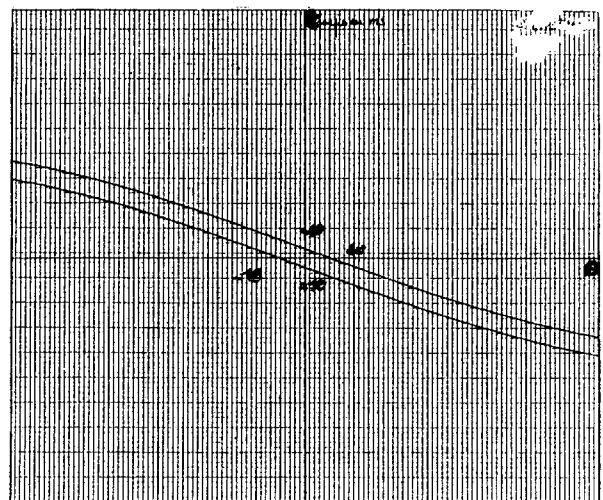


Fig. 6b - Courbe de niveau à -3 dB

Fig. 6 - $\chi^2(\theta, t)$ pour système coloré à 12 émetteurs et 1 récepteur
 Répartition linéaire des fréquences

FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
SIMULTANEEES
AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS
MULTIPLE TRANSMISSION

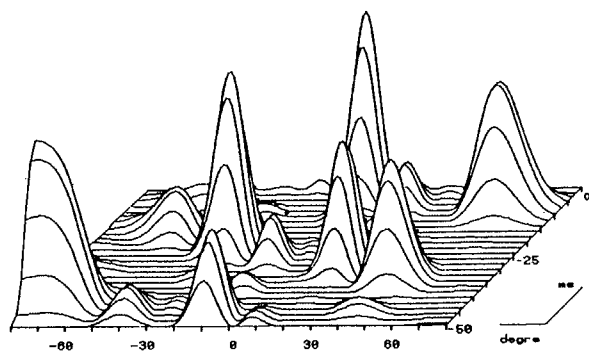


Fig. 7a - Perspective de $\chi^2(\theta, t)$

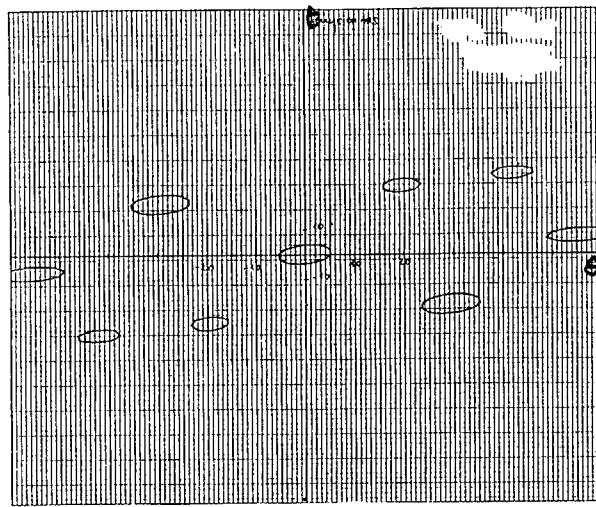


Fig. 7b - Ligne de niveau à -3 dB

Fig. 7 - $\chi^2(\theta, t)$ Système coloré à 12 émetteurs et 1 récepteur
Répartition aléatoire des fréquences

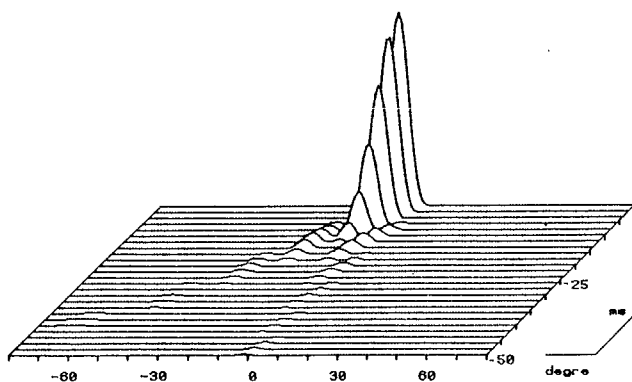


Fig. 8a - Vue perspective de $\chi^2(\theta, t)$

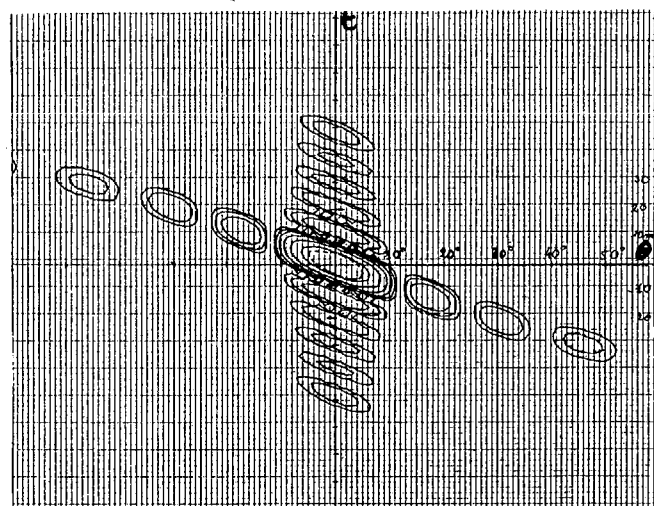


Fig. 8b - Courbe de niveau séparée de 4 dB de -4 dB à -24 dB (ligne en pointillé -3 dB)

Fig. 8 - $\chi^2(\theta, t)$ pour une antenne colorée à 12 émetteurs, 12 récepteurs
Répartition linéaire des fréquences

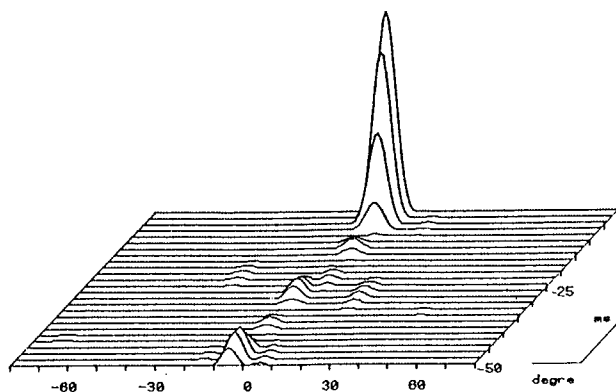


Fig. 9a - Vue en perspective de $\chi^2(\theta, t)$

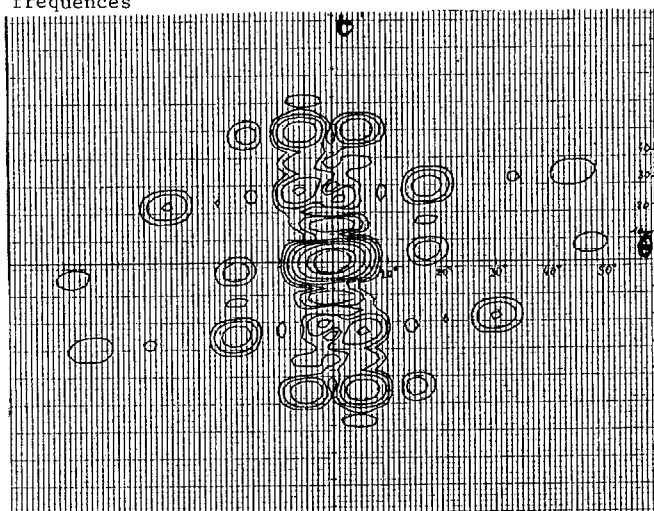


Fig. 9b - Ligne de niveau de -4 à -24 dB par pas de 4 dB (ligne en pointillé -3 dB)

Fig. 9 - $\chi^2(\theta, t)$ Système coloré à 12 émetteurs, 12 récepteurs
Répartition aléatoire des fréquences



FONCTIONS D'AMBIGUITE D'UN SYSTEME D'IMAGERIE A EMISSIONS MULTIPLES
 SIMULTANEEES
 AMBIGUITY FUNCTIONS OF AN IMAGING SYSTEM USING SIMULTANEOUS
 MULTIPLE TRANSMISSION

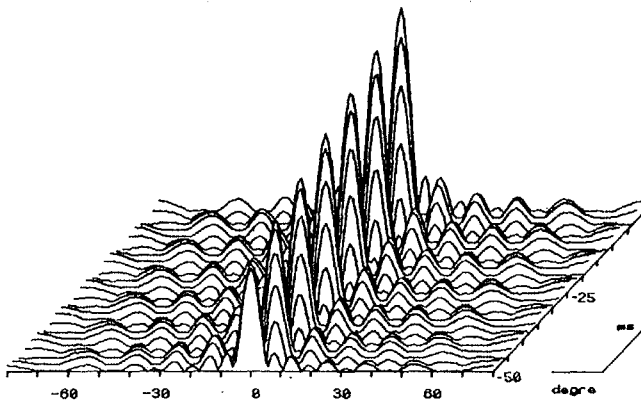


Fig. 10a - Vue en perspective de $\chi^2(\theta, t)$

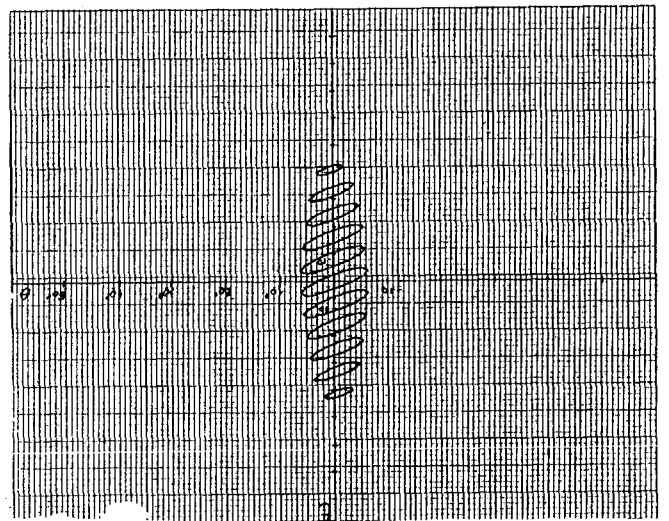


Fig. 10b - Ligne de niveau à -3 dB

Fig. 10 - $\chi^2(\theta, t)$ Antenne colorée à 12 récepteurs et 2 émetteurs

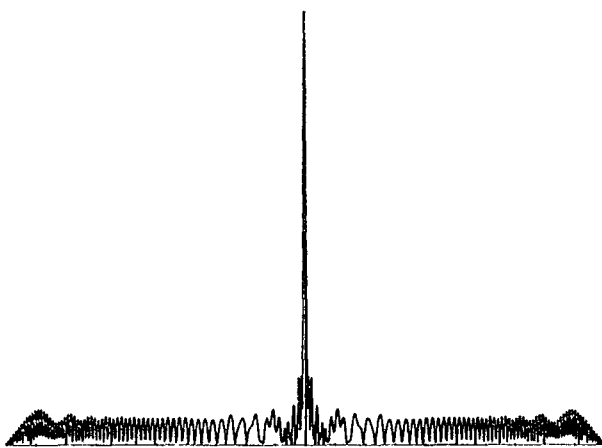


Fig. 11a - FM croisés

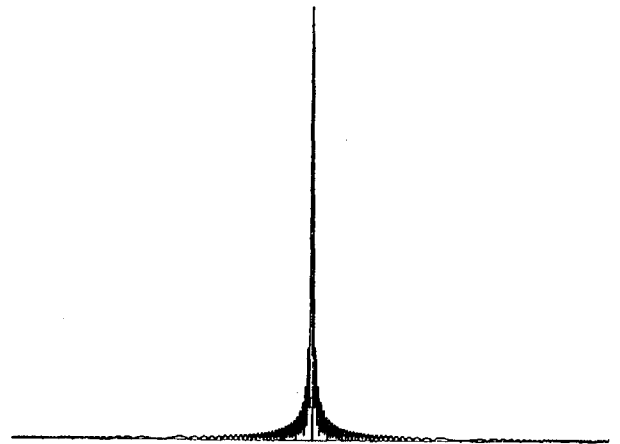


Fig. 11b - FM seul

Fig. 11 - Coupe $\chi(0, t)$

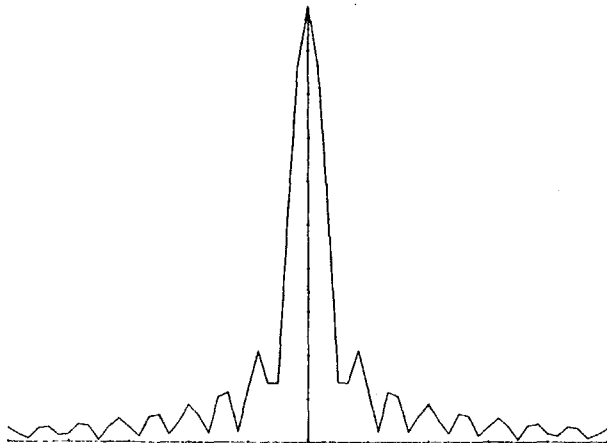


Fig. 12a - FM croisés

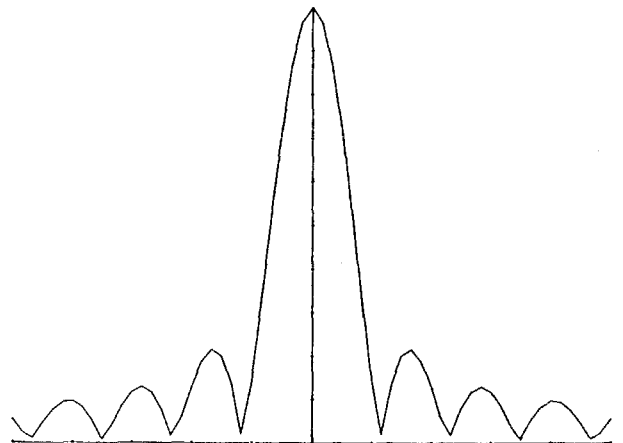


Fig. 12b - FM seul

Fig. 12 - Coupe $\chi(\theta, 0)$