

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 10.10.03.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 15.04.05 Bulletin 05/15.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : *THALES Société anonyme* — FR.

72) Inventeur(s) : BILLAUD PHILIPPE et DE VOLDER CLAUDE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : THALES "INTELLECTUAL PROPERTY".

54) **PROCEDE ET DISPOSITIF DE FILTRAGE DE REPONSES DANS UN EXTRACTEUR DE RADAR SECONDAIRE.**

57) La présente invention se situe dans le domaine du filtrage des réponses reçues par un extracteur situé en aval d'un récepteur d'un radar secondaire. Un but de l'invention est de proposer un défruiteur permettant de tenir compte des porteurs ayant une vitesse radiale importante par rapport au radar secondaire.

Selon l'invention, une première réponse reçue dans une récurrence i est considérée synchrone avec une seconde réponse reçue dans une autre récurrence j si :

$$p_j \in [p_i - V_{\max} \times (t_j - t_i); p_i - V_{\min} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j > t_i, \text{ ou}$$

$$p_j \in [p_i - V_{\min} \times (t_j - t_i); p_i - V_{\max} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j < t_i,$$

où :

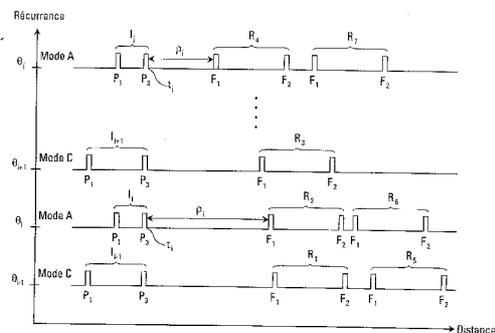
- V_{\min} et V_{\max} sont respectivement la vitesse radiale minimale et maximale des transpondeurs par rapport au radar secondaire, positive par convention pour un transpondeur se rapprochant du radar, les vitesses V_{\min} et V_{\max} pouvant être égales, au moins V_{\min} ou V_{\max} étant non nulle;

- p_i et p_j sont respectivement la distance à laquelle le transpondeur a été détectée dans la récurrence i et dans la récurrence j ;

- t_i et t_j sont respectivement l'instant d'émission de l'interrogation dans la récurrence i et dans la récurrence j .

Le défruiteur selon l'invention peut comporter un filtre synchrone unique (pour lequel $V_{\min} = -V_{\max}$ par exemple)

ou un ensemble de filtres fonctionnant en parallèle, chaque filtre traitant des plages de vitesses radiales différentes.



La présente invention se situe dans le domaine du filtrage des réponses reçues par un extracteur situé en aval d'un récepteur d'un radar secondaire.

Un radar secondaire permet d'obtenir de véhicules porteurs
5 coopératifs, équipés de transpondeurs (répondeur radar), des informations codées sur l'identité du porteur et d'autres informations codées (altitude, signalisation des pannes radios, détournement, détresse).

Les radars secondaires sont utilisés à la fois dans des applications civiles et militaires, en tant que radar de surveillance (connus sous le nom de
10 "Secondary Surveillance Radar" ou SSR dans la littérature anglo-saxonne) ou radar anti-collision (radar embarqué). La Convention sur l'Aviation Civile Internationale, appelée encore norme OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) définit un protocole de communication pour les radars secondaires dans son annexe 10 (Télécommunications Aéronautiques),
15 volume IV (Radar de surveillance et systèmes anti-collision). La norme OACI définit plusieurs modes d'interrogation, tel que les modes A, C et S. Le mode S se distingue des modes A et C en ce qu'il permet une interrogation sélective des avions par l'emploi d'un numéro d'identification propre à chaque avion. Toutefois, les interrogations et les réponses du mode S sont
20 longues par rapport aux interrogations et aux réponses en mode A ou C.

On distingue habituellement, parmi les réponses arrivant sur une antenne radar secondaire, les réponses dites synchrones qui sont les réponses de transpondeurs, situés dans le lobe d'interrogation du radar, aux interrogations de ce radar, et les réponses dites asynchrones, qui sont les
25 réponses des transpondeurs situés dans le lobe d'interrogation du radar à des interrogations provenant d'autres radars.

Le nombre de réponses asynchrones peut s'avérer très important, notamment dans l'application à la surveillance de la navigation aérienne, où la densité d'avions dans un secteur azimutal peut être très forte et le nombre
30 de radars secondaires très élevé. Si rien n'est fait pour éliminer ces réponses asynchrones, le traitement de l'ensemble des réponses (synchrones et asynchrones), en aval du récepteur, peut être saturé.

Il est connu pour éliminer les réponses asynchrones d'utiliser un dispositif appelé défriteur, permettant au radar secondaire d'éliminer parmi toutes les réponses reçues, celles qui ne sont pas les réponses à ses propres interrogations.

5 Un défriteur comporte un filtre synchrone qui vérifie que les réponses reçues au cours des périodes d'écoute suivant chacune des interrogations, sont synchrones avec les interrogations du radar. L'interrogation et la période d'écoute la suivant constituent ce qui est appelé une récurrence. Le filtre synchrone vérifie donc si les réponses sont reçues
10 au même instant T (temps séparant l'interrogation de la réponse) de leur récurrence. Le défriteur effectue un comptage du nombre P de réponse considérées synchrones par le test de synchronisme. Le défriteur ne transmet ces réponses à l'extracteur que si le rapport P/N , où N est le nombre de récurrences auquel est appliqué le test de synchronisme, est
15 supérieur à un seuil k déterminé.

La demande de brevet FR 2 692 996 décrit un test de synchronisme dans lequel les réponses sont considérées comme synchrones si elles sont reçues dans des intervalles de temps $[T - \tau ; T + \tau]$, τ désignant un temps de tolérance. Ce temps de tolérance permet de tenir
20 compte notamment de la tolérance sur les temps de réponse des transpondeurs et de l'incertitude introduite par l'échantillonnage numérique.

Si un porteur est animé d'une vitesse radiale par rapport au radar secondaire, le test de synchronisme peut conclure à tort que des réponses de son transpondeur ne sont pas synchrones, le porteur s'étant déplacé
25 d'une distance trop importante entre les deux interrogations. En d'autres termes, l'utilisation d'un tel défriteur provoque la perte d'un certain nombre de réponses synchrones.

Or, avec l'utilisation du mode S, il n'est plus possible de tolérer la perte de réponses synchrones. En effet, le principe d'interrogation sélective
30 des avions mode S requiert un temps important. Par suite la fréquence d'interrogation dans les autres modes a considérablement diminuée, passant par exemple de 450 Hz à 150 Hz. Le nombre de récurrences N auquel peut être appliqué le test de synchronisme a diminué en conséquence. Par conséquent, un tel défriteur n'est pas satisfaisant vis à vis des porteurs
35 présentant une vitesse radiale non négligeable au sein d'un radar mode S.

De façon analogue, si la vitesse de rotation du radar secondaire est lente, même pour des cibles de vitesse radiale moyenne, le déplacement en distance de celle-ci dans la durée du lobe est important rendant celle-ci asynchrone avec un défruiteur actuel. Or on ne peut tolérer la perte de
5 réponses synchrones sans compromettre les performances du radar.

Un but de l'invention est de proposer un défruiteur plus performant, permettant de tenir compte des porteurs dont la vitesse radiale par rapport au radar secondaire est non négligeable.

A cet effet l'invention concerne notamment un procédé de
10 défruitage des réponses de transpondeurs reçues par un radar secondaire en réponse à des interrogations émises par le radar de façon récurrente, une récurrence étant formée par l'interrogation et les réponses reçues au cours d'une période d'écoute suivant l'interrogation, le procédé de défruitage comprenant un test du synchronisme des réponses reçues dans différentes
15 récurrences, caractérisé en ce que une première réponse reçue dans une récurrence i est considérée synchrone avec une seconde réponse reçue dans une autre récurrence j si :

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j > t_i, \text{ ou}$$

20

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j < t_i,$$

où :

- V_{\min} et V_{\max} sont respectivement la vitesse radiale minimale et maximale
25 des transpondeurs par rapport au radar secondaire, positive par convention pour un transpondeur se rapprochant du radar, les vitesses V_{\min} et V_{\max} pouvant être égales, au moins V_{\min} ou V_{\max} étant non nulle ;
- ρ_i et ρ_j sont respectivement la distance à laquelle le transpondeur a été détectée dans la récurrence i et dans la récurrence j ;
- 30 - t_i et t_j sont respectivement l'instant d'émission de l'interrogation dans la récurrence i et dans la récurrence j .

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante présentée à titre d'illustration non limitative et faite en référence aux figures annexées, lesquelles
35 représentent :

- la figure 1, un exemple de récurrences d'un radar secondaire ;
- la figure 2, un exemple de récepteur d'un radar secondaire ;
- la figure 3, un exemple de fenêtre glissante utilisée pour effectuer un test de synchronisme dans un procédé de défruitage de l'art antérieur ;
- 5 - les figures 4 à 6, des exemples de fenêtres glissantes utilisées pour effectuer un test de synchronisme dans un procédé de défruitage selon l'invention ;
- les figures 7 à 14, un exemple de mise en œuvre avantageux de l'invention dans lequel un ensemble de filtres synchrones en parallèle est
10 utilisé ;
- la figure 15, un exemple de diagrammes d'antenne d'un radar secondaire dans un repère puissance – azimut, la puissance étant représentée en ordonnées sur une échelle logarithmique ;
- la figure 16, un exemple de mise en œuvre avantageux de l'invention,
15 dans lequel la largeur en azimut des fenêtres glissantes, c'est à dire le nombre de récurrences utilisées, est adaptée au bilan de liaison radio.

On se réfère maintenant à la figure 1 sur laquelle est représenté un exemple de récurrences d'un radar secondaire.

20 Chaque récurrence comprend une interrogation émise par le radar secondaire. Le radar peut être un radar à antenne tournante. Chaque interrogation est donc émise dans une direction azimutale notée θ_n , où l'indice n représente le numéro de la récurrence. La direction azimutale est celle définie par la direction du lobe principal de l'antenne lors de
25 l'interrogation. Des interrogations I_n peuvent être émises dans différents modes. On a représenté une succession d'interrogation en mode A et en mode C émises en alternance. L'interrogation peut être formée par deux impulsions P_1 , P_3 , séparées d'un intervalle de temps déterminé. Par exemple, les impulsions des interrogations en mode A sont séparées de
30 $8 \mu\text{s}$, et celles en mode C de $21 \mu\text{s}$. Bien entendu, l'invention ne se limite pas à ces modes d'interrogation.

Les récurrences comprennent des réponses. Ces réponses sont émises par des transpondeurs situés dans le lobe de réception de l'antenne, et reçues par le radar secondaire. Des réponses peuvent être synchrones,
35 telles que les réponses R_1 à R_4 , c'est à dire émises par des transpondeurs

en réponse aux interrogations I_n . Les réponses R_1 à R_4 dans cet exemple sont émises par un même transpondeur, répondant à la fois aux interrogations mode A et mode C. D'autres réponses peuvent être asynchrones, telles que les réponses R_5 à R_7 , c'est à dire émises par des
5 transpondeurs en réponse à des interrogations d'un ou plusieurs autres radars secondaires.

Une réponse classique (synchrone ou asynchrone) comprend deux impulsions d'encadrement, notées F_1 et F_2 , séparées d'un intervalle de temps déterminé. Cet intervalle peut être de $20,3 \mu s$ pour les réponses aux
10 interrogations mode A et C. Entre les deux impulsions d'encadrement, les réponses comprennent en outre des impulsions (non représentées) codant pour des données.

Une période de récurrence est définie par le temps séparant deux impulsions P_3 de deux interrogations successives. Cette période est de
15 l'ordre de 2 à 20 ms. On peut réaliser une vobulation, avec par exemple 128 paliers de vobulation, c'est à dire utiliser une période de récurrence variable. Ceci permet d'éliminer plus efficacement les réponses asynchrones issues d'autres radars ayant une fréquence d'interrogation proche de celle du radar équipé du défruiteur.

20

La figure 2 représente un exemple de récepteur d'un radar secondaire. Ce récepteur comprend un dispositif de traitement des impulsions
10 qui reçoit en entrée des signaux (vidéo radar) élaborés de façon connue en elle-même, échantillonnés à une fréquence par exemple de
25 20 MHz.

L'un de ces signaux représente une information dite de façon conventionnelle Log sigma. Ce signal est représentatif de la puissance du signal reçu après qu'il a été amplifié de façon connue par un amplificateur logarithmique. Il est converti en grandeur numérique par un convertisseur
30 analogique numérique (non représenté) avant son introduction dans le dispositif 10. Le dispositif 10 reçoit également un signal dit de façon conventionnelle Q sigma, qui est la recopie du signal Log sigma diminué de six décibels. Ce signal Q sigma permet d'obtenir le point milieu de la valeur de la puissance de l'impulsion. Le dispositif 10 reçoit également un signal
35 QRSL dit de réception sur lobes secondaires.

Le dispositif 10 permet notamment d'élaborer la position des impulsions. Cette élaboration peut être faite en prenant en compte la détection de fronts montants réels d'une part, et d'autre part en générant des fronts montants artificiels lorsqu'une impulsion réelle a une durée supérieure
5 à la durée normale d'une impulsion. Cette génération peut être faite à partir du front arrière de l'impulsion réelle. Si un changement de niveau de puissance est détecté, cette génération peut aussi être faite à partir des moments de ce changement de puissance. La durée normale d'une impulsion peut être connue de la normalisation internationale, telle que la
10 Convention sur l'Aviation Civile Internationale, appelée encore norme OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), annexe 10 (Télécommunications Aéronautiques), volume IV (Radar de surveillance et systèmes anti-collision).

Le récepteur comprend en outre un dispositif de détection de
15 réponses secondaires 60, placé en aval du dispositif 10. Le dispositif de détection 60 est appelé aussi détecteur BPD (acronyme issu de l'expression anglo-saxonne "Bracket Pair Detection") ou détecteur de réponses secondaires. Le circuit 60 permet de détecter la coïncidence d'impulsions séparées de l'intervalle déterminé, c'est à dire $20,3 \mu\text{s}$ dans cet exemple. Il
20 comprend essentiellement une ligne à retard de $20,3 \mu\text{s}$ dont l'entrée reçoit le signal vidéo radar échantillonné. Avantagusement, on ajoute un temps de tolérance (par exemple de $0,25 \mu\text{s}$) à cette durée de $20,3 \mu\text{s}$. Ce temps de tolérance permet de tenir compte du temps de réponse des transpondeurs et de l'incertitude introduite par le circuit de détection en amont. L'entrée et la
25 sortie de la ligne à retard sont reliées à une porte logique "ET", dont la sortie permet de détecter la coïncidence d'impulsions d'encadrement, et donc d'une réponse.

Le récepteur comprend en outre un dispositif 20 qui à partir des informations du dispositif 10 élabore les messages contenus dans chacune
30 des réponses reçues.

Avant de transmettre ces réponses aux dispositifs de traitement ou de visualisation, il convient de s'assurer que les réponses détectées ne sont pas des réponses asynchrones. Cette fonction est réalisée par un défruiteur. Un défruiteur comporte des dispositifs 30, 40, 70, 80. Les

dispositifs 30 et 70 sont des mémoires contenant respectivement des messages et des détections issues des dispositifs 20 et 60.

Le dispositif 80 est un corrélateur pour réaliser une corrélation entre une détection courante et d'autres détections, qui sont mémorisées dans la mémoire 70. Cette corrélation revient à compter dans des 5 récurrences déterminées le nombre de réponses considérées comme synchrones avec une réponse courante. Le choix des récurrences peut être effectué de la manière décrite dans le document FR 2 692 996 (mono-mode, multi-mode). Pour déterminer si deux réponses sont synchrones, on effectue 10 un test appelé test de synchronisme. L'implémentation de ce test revient à déterminer une fenêtre en fonction de la position de la réponse courante (récurrence, case distance) dans la mémoire 70. La corrélation étant effectuée pour chaque réponse détectée, on utilise une fenêtre glissante.

Le résultat de la corrélation réalisée alimente un dispositif 15 d'élimination des fruits 40. Ce dispositif reçoit des messages réponses en provenance de la mémoire 30. Cette mémoire 30 a pour fonction de conserver les messages reçus pendant le temps nécessaire à l'exécution de la corrélation. Le dispositif 40 transmet les messages des réponses corrélées à un dispositif de génération de plots 50. Par contre, il ne transmet pas le 20 message d'une réponse considérée comme asynchrone car n'ayant pas été corrélée.

On se réfère maintenant à la figure 3 sur laquelle est représenté un exemple de fenêtre glissante utilisée pour effectuer un test de 25 synchronisme dans un procédé de défruitage de l'art antérieur. On trouvera la description d'un tel procédé dans le brevet FR 2 692 996. La sortie du détecteur BPD peut être reliée à une mémoire matricielle dont les cases mémoires sont représentées dans un repère en azimut – distance. La mémoire matricielle permet de mémoriser les détections de réponses 30 (synchrones ou asynchrones).

Les cases mémoires sont ordonnées en distance et en récurrence. Chaque colonne de la mémoire matricielle représente une case distance. Chaque colonne correspond à une distance aller/retour, parcourue par une onde à la vitesse de la lumière, notée c , pendant 50 nano-secondes 35 (si la fréquence de traitement du signal choisie est de 20Mhz). Pour une

portée de 265 milles nautiques il y a 65536 colonnes. Chaque ligne de la mémoire représente une récurrence. Chaque ligne correspond à l'azimut du lobe principal de l'antenne lors de l'interrogation.

Lorsqu'une case mémoire de la ligne n°i est renseignée, ceci
5 indique qu'une réponse a été détectée par le détecteur BPD lors de la récurrence n°i. La ligne de la case mémoire permet de déterminer l'azimut θ_i du radar lors de l'interrogation. La colonne de la case mémoire permet de déterminer la distance ρ_j , exprimée en nombre de cases mémoires, entre le transpondeur et le radar.

10 Lorsqu'une réponse est détectée dans une récurrence, on cherche si cette réponse est corrélée à d'autres réponses dans d'autres récurrences. En d'autres termes, on effectue un test de synchronisme entre une détection sous analyse et d'autres détections réalisées dans d'autres récurrences. Les récurrences prises en considération pour effectuer le test de synchronisme
15 peuvent être celles qui précèdent et / ou celles qui suivent la détection sous analyse. Dans cet exemple, la réponse sous analyse est référencée par l'azimut θ_i et la distance ρ_i .

On prend en considération les N récurrences qui précèdent et les N récurrences qui suivent la réponse sous analyse. Ces N récurrences
20 correspondent à une extension azimutale $\Delta\theta$ égale à la largeur du lobe d'antenne utilisée par le radar. Par exemple, on peut utiliser une valeur de N égale à treize.

Dans ces autres récurrences, les réponses sont considérées comme synchrones si elles sont reçues dans des intervalles de temps $[T - \tau ;$
25 $T + \tau]$, τ désignant un temps de tolérance. La tolérance en temps τ correspond à une tolérance en distance $\delta\rho$ avec :

$$\delta\rho = \frac{c \times \tau}{2}$$

30 Dans cet exemple, la tolérance $\delta\rho$ est de quatre cases distance. Ainsi, on prend en considération non seulement la case distance de la réponse sous analyse, mais aussi les quatre cases distances qui la précèdent et qui la suivent. Toutefois, ces quatre cases distances ne sont pas suffisantes pour tenir compte des transpondeurs animés d'une vitesse
35 radiale non négligeable.

On se réfère à la figure 1. On considère un transpondeur en rapprochement. De récurrence en récurrence, la distance entre le transpondeur et le radar diminue. Ainsi à la récurrence n°i la distance est ρ_i . A la récurrence n°j, la distance a diminué à ρ_j , l'écart entre ρ_i et ρ_j étant supérieur à quatre cases distances.

Comme illustré sur la figure 3, le transpondeur en rapprochement sort de la fenêtre glissante. Les détections aux récurrences suivantes ne sont pas prises en considération. Il peut en résulter, si le nombre de détections est trop faible, qu'un tel transpondeur ne soit pas détecté. En d'autres termes, les réponses correspondant à ce transpondeur en rapprochement, considérées à tort comme asynchrones, seront éliminées par un procédé de défruitage conventionnel.

On se réfère maintenant aux figures 4 à 6. L'invention permet de tenir compte de toutes les détections d'un transpondeur mobile. La vitesse radiale du transpondeur, supposée constante, est encadrée par deux vitesses radiales V_{\min} et V_{\max} . V_{\min} représente la vitesse radiale minimale, V_{\max} la vitesse radiale maximale. Les vitesses V_{\min} et V_{\max} sont des paramètres du procédé, au moins l'une de ces vitesses étant non nulle. Par convention, la vitesse radiale est prise positive pour un transpondeur en rapprochement et négative pour un transpondeur s'éloignant. Ainsi, un transpondeur qui s'éloigne a une vitesse radiale plus petite qu'un transpondeur en rapprochement.

Lorsqu'une réponse est détectée dans une récurrence, on cherche si cette réponse est corrélée à d'autres réponses dans d'autres récurrences en effectuant un test de synchronisme du type de celui décrit précédemment. Selon l'invention, lorsqu'on effectue le test de synchronise, on tient compte des détections des transpondeurs dont les vitesses radiales sont comprises entre les vitesses V_{\min} et V_{\max} .

Lorsqu'une réponse à la récurrence n°i est détectée, on considère comme synchrones à la récurrence n°j les réponses pour lesquelles :

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j > t_i,$$

ou

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j < t_i,$$

où t_i et t_j sont respectivement l'instant d'émission de l'interrogation dans la récurrence i et dans la récurrence j .

5

Les vitesses V_{\min} et V_{\max} peuvent être différentes ou égales. Dans les exemples illustrés figures 4 et 5, on utilise des vitesses différentes. A la récurrence j , le test de synchronise revient à considérer comme synchrones les détections dans les cases distances allant de $\rho_i + \Delta\rho_1(j)$ à $\rho_i + \Delta\rho_2(j)$, où :

10

$$\Delta\rho_1(j) = -V_{\max} \times (t_j - t_i) \text{ et } \Delta\rho_2(j) = -V_{\min} \times (t_j - t_i) \text{ lorsque } t_j > t_i$$

ou

$$\Delta\rho_1(j) = -V_{\max} \times (t_j - t_i) \text{ et } \Delta\rho_2(j) = -V_{\min} \times (t_j - t_i) \text{ lorsque } t_j > t_i$$

15

Dans l'exemple illustré figure 4, on utilise des paramètres ayant même valeur absolue. En d'autres termes, les transpondeurs sont supposés avoir une vitesse radiale limitée en valeur absolue à une vitesse V_r . On utilise donc les paramètres $V_{\min} = -V_r$ et $V_{\max} = +V_r$. On obtient une fenêtre glissante ayant une forme de sablier.

20

Dans l'exemple illustré figure 5, on utilise des paramètres ayant des valeurs proches. En d'autres termes, on encadre la vitesse radiale entre deux valeurs proches.

Dans l'exemple illustré figure 6, on utilise des paramètres ayant même valeur. Le test de synchronise revient à rechercher les transpondeurs détectés à une distance déterminée $\rho_j = \rho_i + \Delta\rho(j)$ avec :

25

$$\Delta\rho(j) = -V_{\min} \times (t_j - t_i) = -V_{\max} \times (t_j - t_i)$$

Selon un mode de réalisation avantageux, on utilise une tolérance en distance $\delta\rho$ pour effectuer le test de synchronise. En d'autres termes, on considère comme synchrones à la récurrence $n^{\circ}j$ des réponses pour lesquelles :

30

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i) - \delta\rho; \rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i) + \delta\rho] \text{ lorsque } t_j > t_i,$$

35 ou

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i) - \delta\rho; \rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i) + \delta\rho] \text{ lorsque } t_j < t_i,$$

Dans l'exemple illustré figure 6, on utilise une tolérance fixe de quatre cases distances. On obtient une fenêtre glissante en forme de parallélogramme. Ce mode de réalisation correspond à une seule vitesse radiale, c'est à dire à une valeur de V_{\min} égale à V_{\max} . Ce mode de réalisation est optimal lorsque la vitesse de l'avion est connue.

Les modes de réalisation décrits en relation avec les figures 5 et 6 sont utiles lorsqu'on utilise plusieurs filtres synchrones (c'est à dire des filtres de réponses secondaires) en parallèle. Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, les filtres synchrones sont répartis en vitesse de manière à détecter le synchronisme de réponses de transpondeurs animés de vitesses radiales comprises dans des plages contiguës. Selon autre un mode de réalisation avantageux, les plages de vitesses radiales sont équiréparties.

L'efficacité d'un défruiteur, c'est à dire le taux de suppression des réponses asynchrones, est d'autant plus faible que la surface de corrélation retenue est grande et que le taux de réponses asynchrones est élevé. L'invention permet, dans un environnement radar très pollué par des réponses asynchrones, d'obtenir une meilleure efficacité grâce à l'utilisation d'une surface de corrélation adaptée à la cible utile.

On se réfère maintenant aux figures 7 à 13 sur lesquelles est représenté un ensemble de fenêtres glissantes W_1, W_2, \dots, W_7 selon l'invention. Les fenêtres glissantes sont représentées dans des repères azimut – distance centrés sur la réponse sous analyse. Chaque fenêtre glissante est utilisée pour réaliser un filtre synchrone différent, auquel correspond une plage de vitesses radiales différente. Les plages de vitesses radiales sont représentées sur un axe parallèle à l'axe des distance (axe des abscisses). Les extrémités de ces plages sont notées V_1, V_2, \dots, V_8 . Ainsi, la fenêtre glissante W_1 correspondant à la plage de vitesses radiales $[V_1; V_2]$. La fenêtre glissante suivante W_2 correspond à une plage de vitesses radiales contiguës $[V_2; V_3]$... On réalise ainsi un ensemble de filtres

synchrones dont les plages de vitesses radiales correspondantes sont contiguës.

De manière avantageuse, chaque vitesse radiale V_1, V_2, \dots, V_8 est séparée de celle qui précède d'un écart de vitesse fixe. En d'autres termes,
5 les plages de vitesses sont équiréparties.

On se réfère à la figure 14, une vue de détail de la fenêtre glissante W_7 représentée dans son ensemble à la figure 13. Dans cet exemple de mise en œuvre, on utilise une tolérance en distance $\delta\rho$ pour effectuer le test de synchronise. Ainsi, la fenêtre glissante W_7 comporte une
10 limite interne L_{int} correspondant exactement à la vitesse radiale V_8 , et une limite externe L_{ext} correspondant à cette même vitesse radiale en tenant compte d'une tolérance en distance $\delta\rho$. Cette tolérance additionnelle a pour but de prendre en compte les jitters en temps de réponse du transpondeur ainsi que les jitters introduits par les traitements du récepteur tels que ceux
15 dus à la fréquence d'échantillonnage du récepteur.

Ainsi, les fenêtres glissantes W_1, W_2, \dots, W_7 peuvent être définies par :

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\text{max}} \times (t_j - t_i) - \delta\rho ; \rho_i - V_{\text{min}} \times (t_j - t_i) + \delta\rho] \text{ lorsque } t_j > t_i ,$$

20 ou

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\text{min}} \times (t_j - t_i) - \delta\rho ; \rho_i - V_{\text{max}} \times (t_j - t_i) + \delta\rho] \text{ lorsque } t_j < t_i ,$$

avec

- pour W_1 : $V_{\text{min}} = V_1$ et $V_{\text{max}} = V_2$;

- pour W_2 : $V_{\text{min}} = V_2$ et $V_{\text{max}} = V_3$;

25 ...

- pour W_7 : $V_{\text{min}} = V_7$ et $V_{\text{max}} = V_8$.

Ainsi la plage de corrélation est à chaque fois adaptée à la vitesse de la cible et ce d'autant plus que $V_{i+1} - V_i$ est faible. Une réponse sera
déclarée synchrone si le seuil de corrélation est dépassé pour l'un des filtres
30 du banc.

On se réfère maintenant à la figure 15 sur laquelle est représenté un exemple de diagrammes d'antenne d'un radar secondaire dans un repère puissance – azimut, la puissance étant représentée en ordonnées sur une échelle logarithmique. Le radar émet et reçoit des ondes radio en utilisant
35 trois diagrammes d'antenne différents, appelés de façon conventionnelle

somme Σ , différence Δ et contrôle Ω . Le diagramme d'antenne somme est centré par rapport à l'axe radioélectrique AR de l'antenne. Le diagramme d'antenne différence comporte deux lobes secondaires symétriques par rapport à l'axe AR. Le diagramme d'antenne contrôle présente quant à lui un minimum centré sur l'axe radioélectrique AR et un plateau en dehors.

Les impulsions (P_1 , P_3) formant les interrogations sont émises en utilisant le diagramme somme. Dans certaines applications, des impulsions peuvent aussi être émises en utilisant le diagramme différence. L'utilisation du diagramme différence à l'émission est optionnelle. Lors de chaque interrogation, une impulsion de contrôle (P_2), définie par la norme OACI, est émise en utilisant le diagramme contrôle.

La norme OACI impose aux transpondeurs de ne répondre aux interrogations que dans un arc prédéterminé du diagramme d'antenne du radar secondaire. Selon la norme, lorsqu'un transpondeur reçoit une impulsion (P_1), issue la voie somme, dont la puissance est supérieure de 9 dB à celle de l'impulsion issue la voie contrôle (P_2), le transpondeur doit répondre à l'interrogation. Cette condition correspond à un arc d'azimut ARC1 dans lequel la norme garantit les réponses des transpondeurs. Par contre si la puissance de l'impulsion P_1 est inférieure à celle de l'impulsion P_2 , le transpondeur ne doit pas répondre à l'interrogation. Il existe ainsi une zone d'incertitude ZI, lorsque la puissance de l'impulsion reçue sur la voie somme est dans un intervalle allant de 0 à 9 dB au-dessus de la puissance de l'impulsion de contrôle. Dans cette zone d'incertitude, le transpondeur peut répondre ou non à l'interrogation. En ajoutant ces zones d'incertitudes ZI à l'arc d'azimut ARC1 précédemment défini, on obtient un arc d'azimut ARC2 maximum au-delà duquel aucun transpondeur ne doit répondre.

Selon un mode de réalisation avantageux, le test de synchronisme est effectué en utilisant uniquement les récurrences comprises dans l'arc ARC2 par rapport à la réponse sous analyse. Ceci permet d'améliorer la probabilité de détecter les réponses synchrones de transpondeur ayant un faible taux de réponse aux interrogations du radar mais répondant sur un arc maximal. En d'autres termes, la grandeur ARC2 permet de définir le nombre N de récurrences qui précèdent ou suivent la réponse sous analyse.

On se réfère maintenant à la figure 16 sur laquelle est représenté un exemple de mise en œuvre avantageux de l'invention, dans lequel la

largeur en azimut des fenêtres glissantes, c'est à dire le nombre de récurrences utilisées, est adaptée au bilan de liaison radio. A partir d'une distance D_{LIM} dépendant des caractéristiques du radar secondaire et des transpondeurs, la largeur du lobe n'est plus limitée par la norme OACI mais par le bilan de liaison. Les transpondeurs situés en deçà de cette distance sont dits en champ proche CP. Les transpondeurs situés au delà de cette distance sont dits en champ lointain CL. En champ proche CP, l'arc d'azimut dans lequel les transpondeurs peuvent répondre est limité par la norme (voir la figure 14). En champ lointain CL, c'est la portée du système radar secondaire – transpondeur, c'est à dire le bilan de liaison BL, qui limite la largeur du lobe. En champ lointain, aux limites du lobe efficace du radar secondaire, soit le transpondeur ne parvient pas à recevoir les interrogations provenant du radar secondaire, soit le radar secondaire ne parvient pas à recevoir les réponses provenant des transpondeurs.

Selon le mode de réalisation avantageux représenté à la figure 16, l'étendue en azimut des fenêtres glissantes est adapté au bilan de liaison. En d'autres termes, on effectue le test de synchronisme en champ lointain uniquement sur les récurrences pour lesquelles l'azimut d'interrogation est compris dans le lobe efficace d'interrogation du radar secondaire. Cette limitation de la zone de corrélation à l'arc de réponse du transpondeur permet de ne pas altérer la probabilité de détection des réponses synchrones mais aussi d'augmenter l'efficacité du défruiteur selon l'invention.

Sur cette figure, l'axe des ordonnées représente l'azimut d'interrogation, et l'axe des abscisses la distance radiale des transpondeurs. L'axe des ordonnées est gradué en récurrence. Un exemple de fenêtre glissante W_{CP} est représenté en champ proche CP. Cette fenêtre glissante inclue les treize récurrences qui suivent et qui précèdent la réponse sous analyse. Un autre exemple de fenêtre glissante W_{CL} est représenté en champ lointain CL. Cette fenêtre glissante est limitée aux cinq récurrences qui suivent et qui précèdent la réponse sous analyse. L'échelle sur cette figure n'est pas respectée, la largeur en distance des fenêtres glissantes étant exagérée pour les rendre visibles.

Selon un autre mode de réalisation avantageux (non représenté), on peut aussi limiter la largeur des fenêtres glissantes en tenant compte non

seulement l'azimut, mais aussi l'élévation des transpondeurs par rapport au radar secondaire. En effet, l'élévation des transpondeurs intervient aussi (dans une moindre mesure) dans le bilan de liaison selon le diagramme en élévation de l'antenne du radar.

5

Bien entendu, l'invention ne se limite pas à ces exemples de réalisation. Les fenêtres glissantes ont été représentées dans un repère azimut – distance en supposant que le radar secondaire est un radar à antenne tournant à une vitesse constante. Toutefois, l'invention s'applique
10 aussi aux radars à antenne fixe. Dans ce cas, on peut remplacer l'axe des ordonnées (azimut lors de l'interrogation) par un axe de temps, le temps sur cet axe étant l'instant de l'interrogation.

REVENDICATIONS

1. Procédé de défruitage des réponses de transpondeurs reçues par un radar secondaire en réponse à des interrogations émises par le radar de façon récurrente, une récurrence étant formée par l'interrogation et les réponses reçues au cours d'une période d'écoute suivant l'interrogation, le
 5 procédé de défruitage comprenant un test du synchronisme des réponses reçues dans différentes récurrences, caractérisé en ce que une première réponse reçue dans une récurrence i est considérée synchrone avec une seconde réponse reçue dans une autre récurrence j si :

$$10 \quad \rho_j \in [\rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j > t_i, \text{ ou}$$

$$\rho_j \in [\rho_i - V_{\min} \times (t_j - t_i); \rho_i - V_{\max} \times (t_j - t_i)] \text{ lorsque } t_j < t_i,$$

où :

- 15 - V_{\min} et V_{\max} sont respectivement la vitesse radiale minimale et maximale des transpondeurs par rapport au radar secondaire, positive par convention pour un transpondeur se rapprochant du radar, les vitesses V_{\min} et V_{\max} pouvant être égales, au moins V_{\min} ou V_{\max} étant non nulle ;
- ρ_i et ρ_j sont respectivement la distance à laquelle le transpondeur a été
 20 détectée dans la récurrence i et dans la récurrence j ;
- t_i et t_j sont respectivement l'instant d'émission de l'interrogation dans la récurrence i et dans la récurrence j.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel on utilise une tolérance en
 25 distance pour effectuer le test de synchronisme.

3. Procédé de défruitage dans lequel on applique en parallèle des procédés de défruitage selon la revendication 1 sur des plages de vitesses radiales [V_{\min} ; V_{\max}] différentes.
 30

4. Procédé selon la revendication 3 dans lequel les plages de vitesses radiales sont contiguës.

5. Procédé selon la revendication 3 dans lequel les plages de vitesses radiales sont équiréparties.
6. Procédé selon la revendication 1 dans lequel on effectue le test de synchronisme en champ lointain uniquement sur les récurrences pour lesquelles l'azimut d'interrogation est compris dans le lobe efficace d'interrogation du radar secondaire.
7. Défruiteur pour extracteur de réponses de transpondeur comportant un dispositif de corrélation configuré pour mettre en œuvre le procédé selon la revendication 1.
8. Radar secondaire comportant un défruiteur selon la revendication 7.

2/8

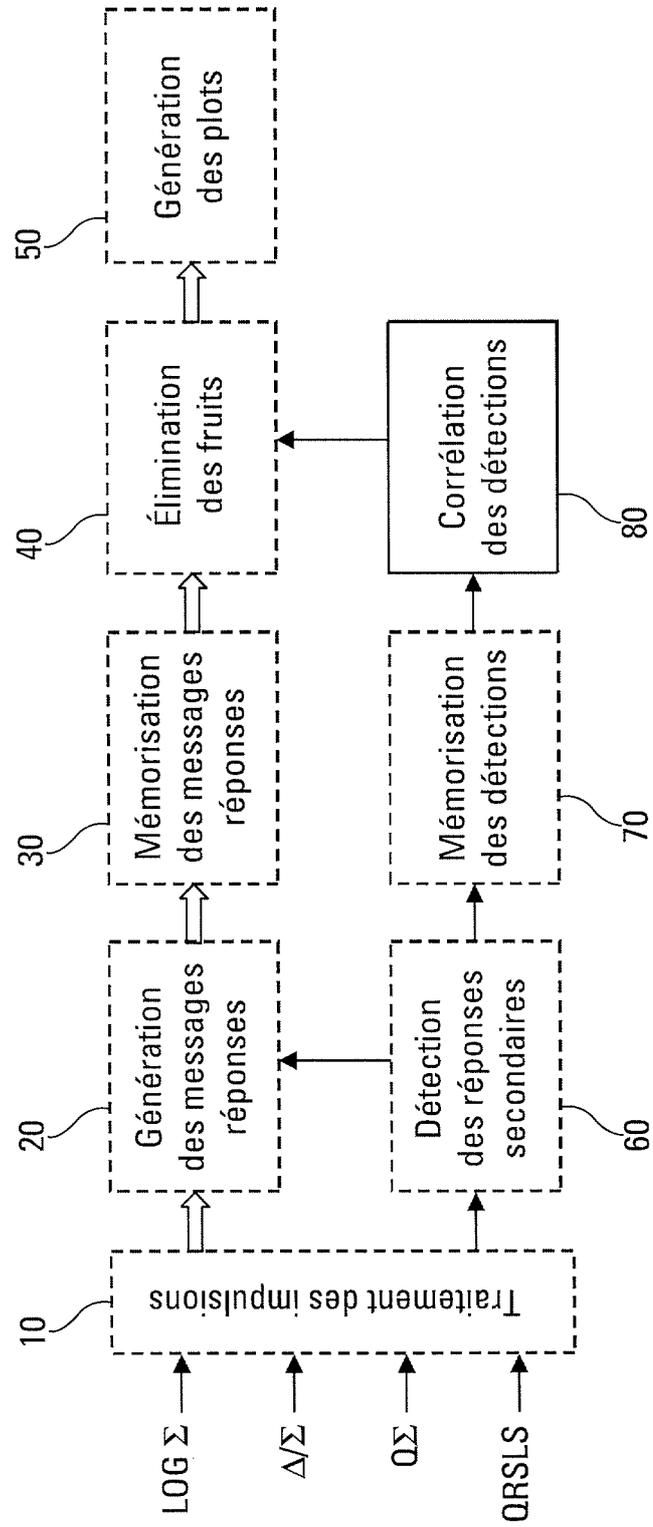


Fig. 2

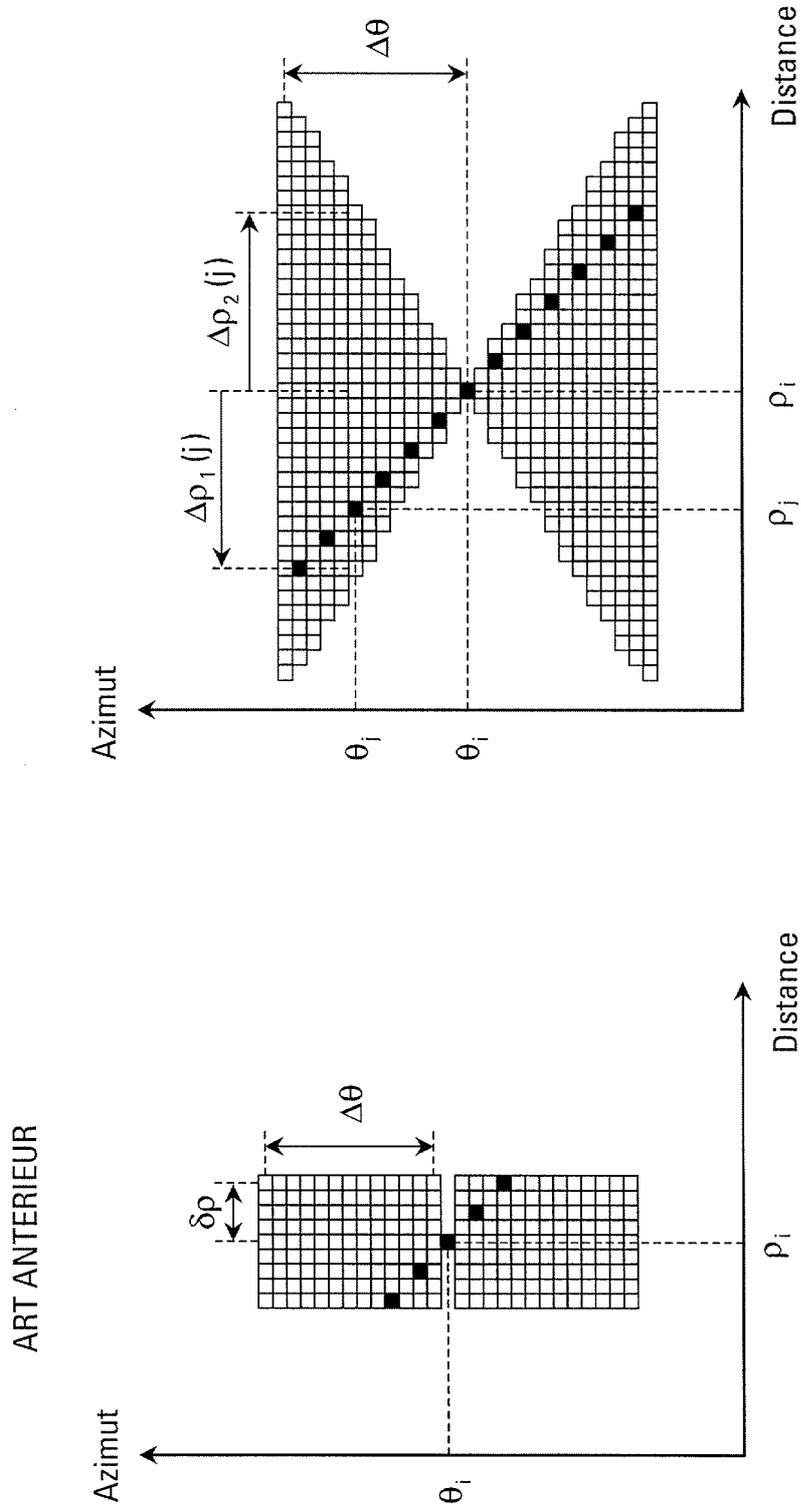


Fig. 4

Fig. 3

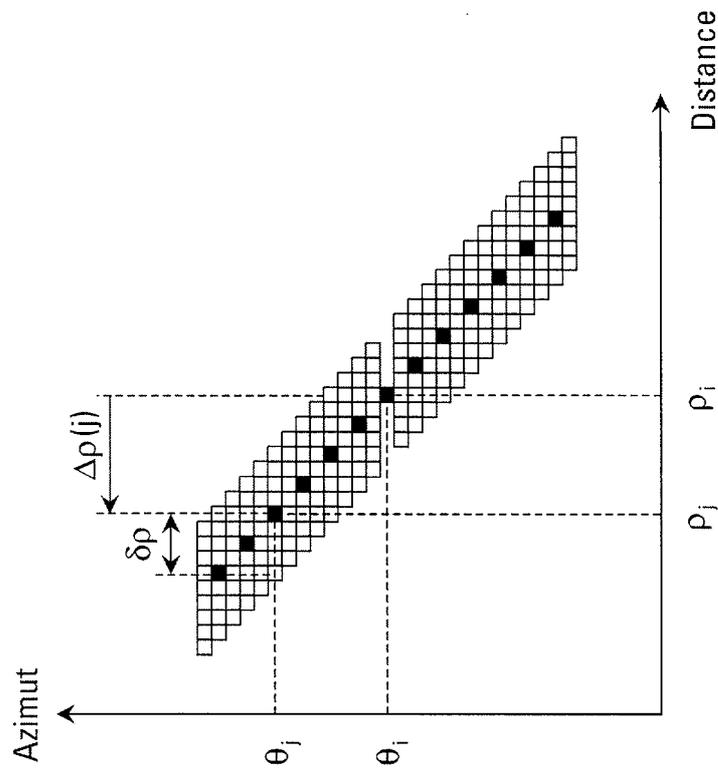


Fig. 6

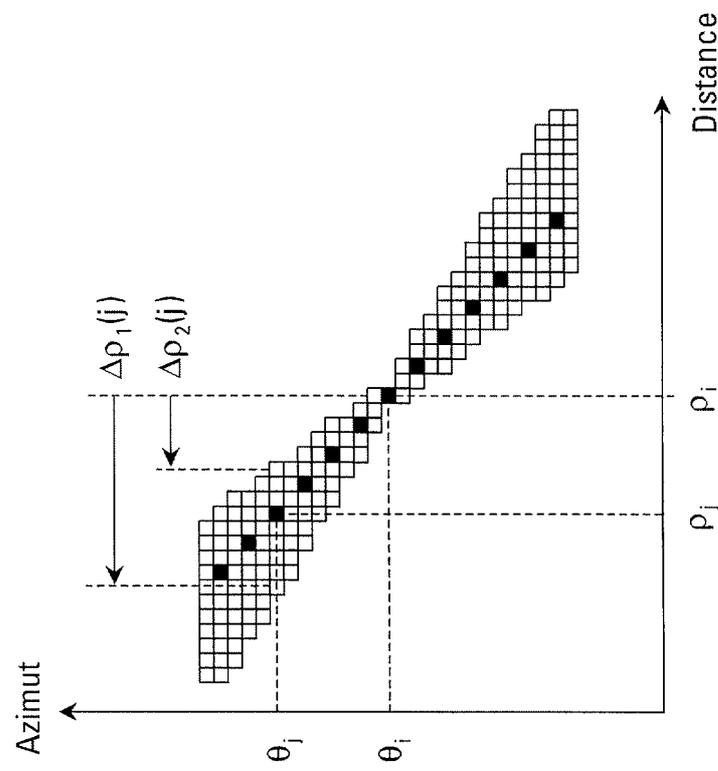


Fig. 5

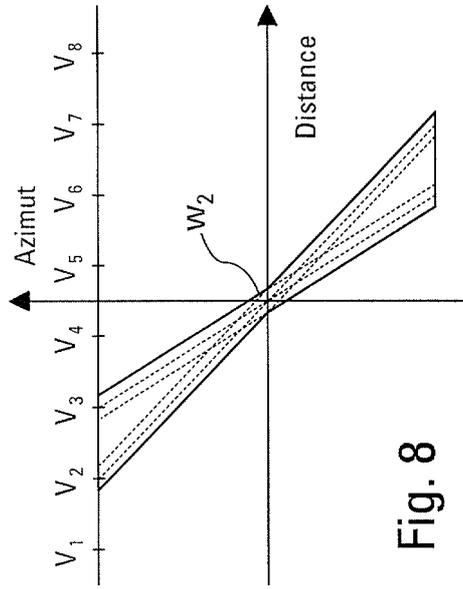


Fig. 8

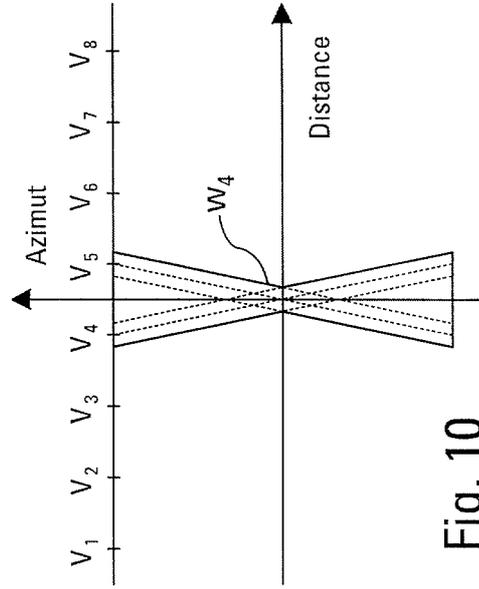


Fig. 10

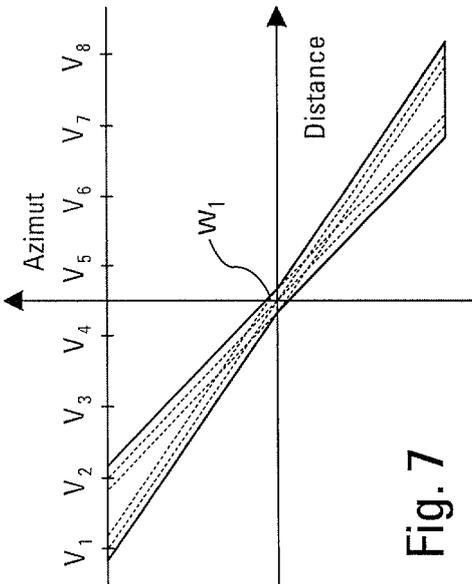


Fig. 7

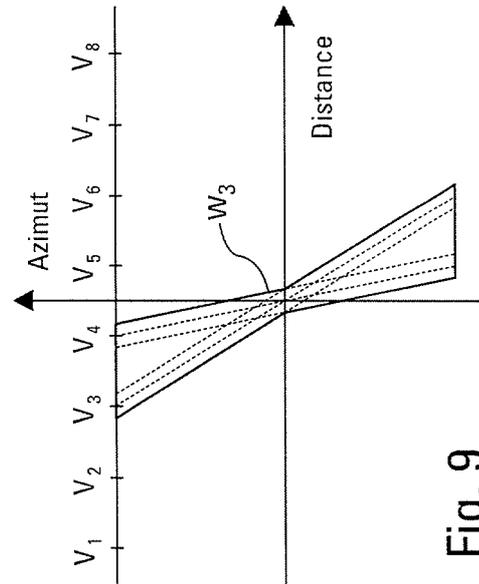


Fig. 9

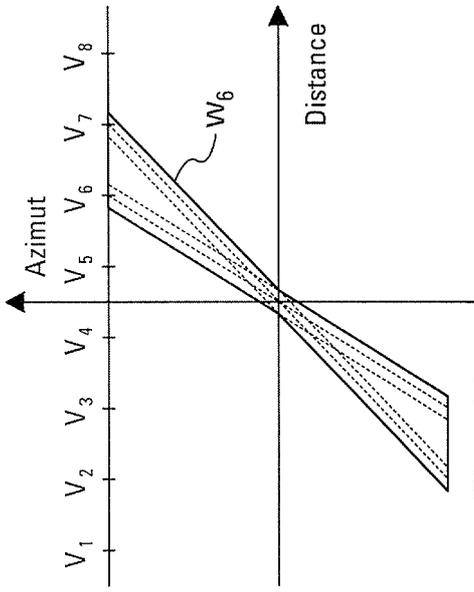


Fig. 12

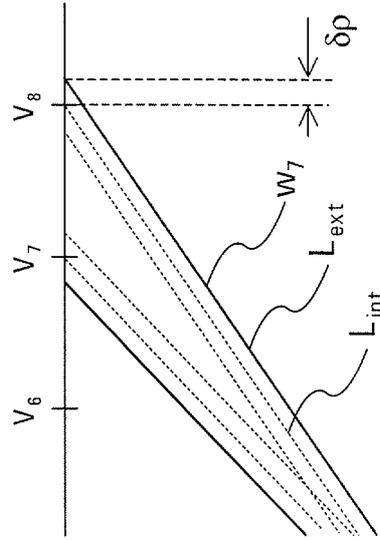


Fig. 14

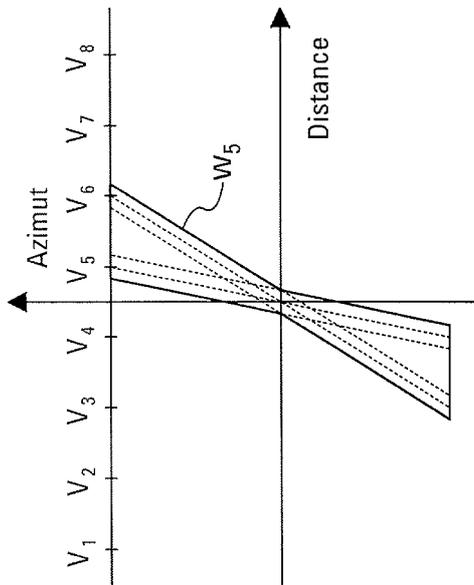


Fig. 11

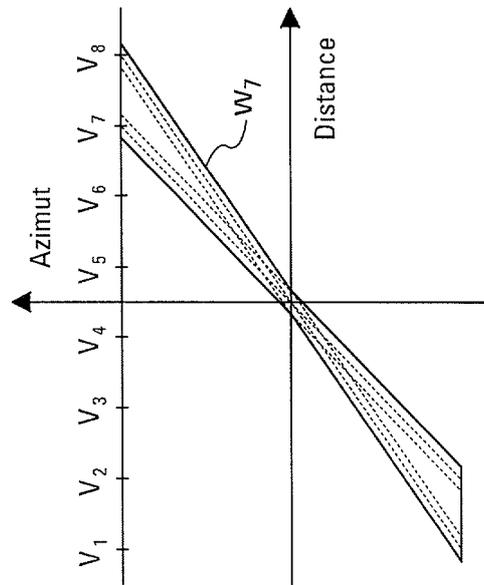


Fig. 13

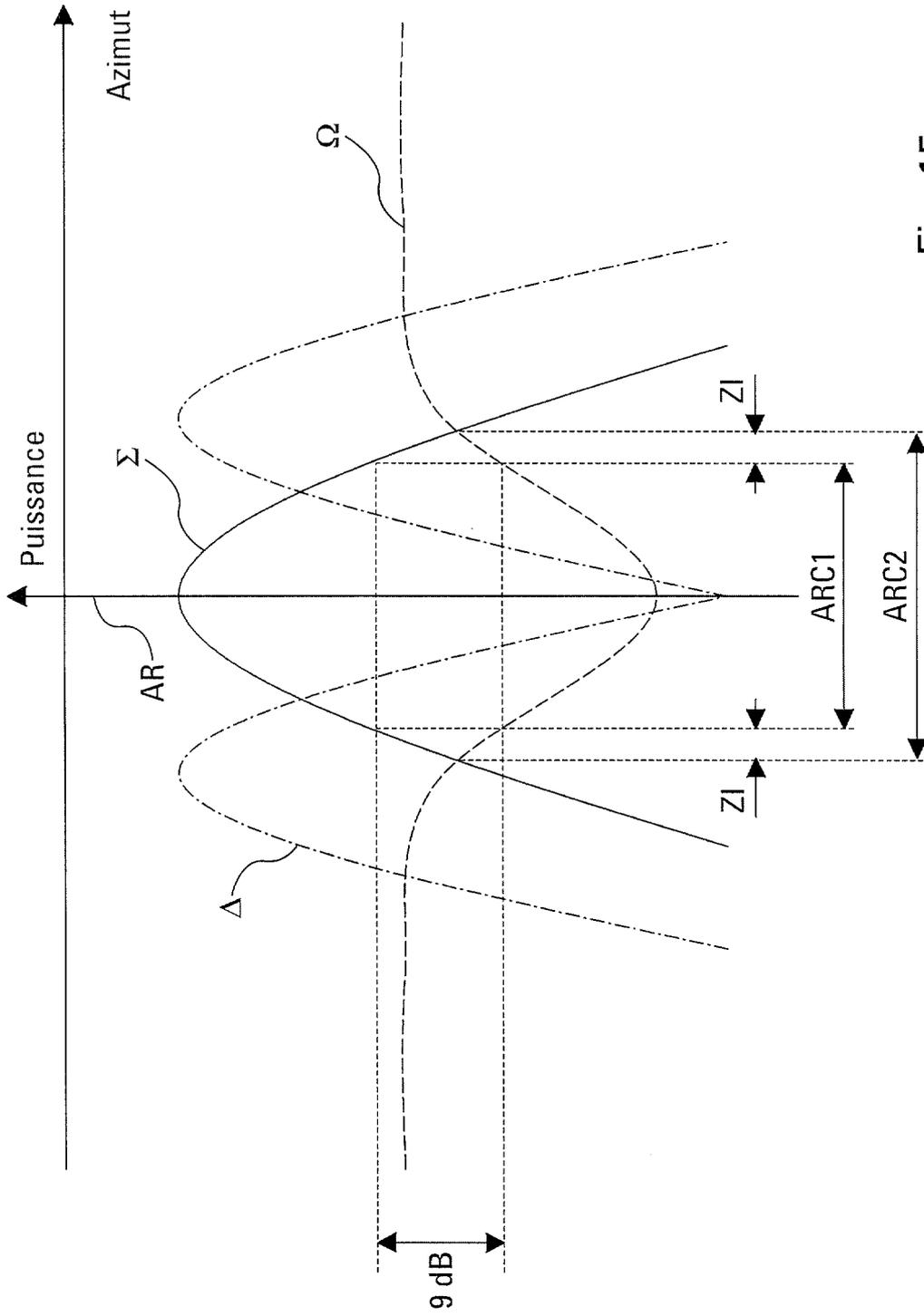


Fig. 15

8/8

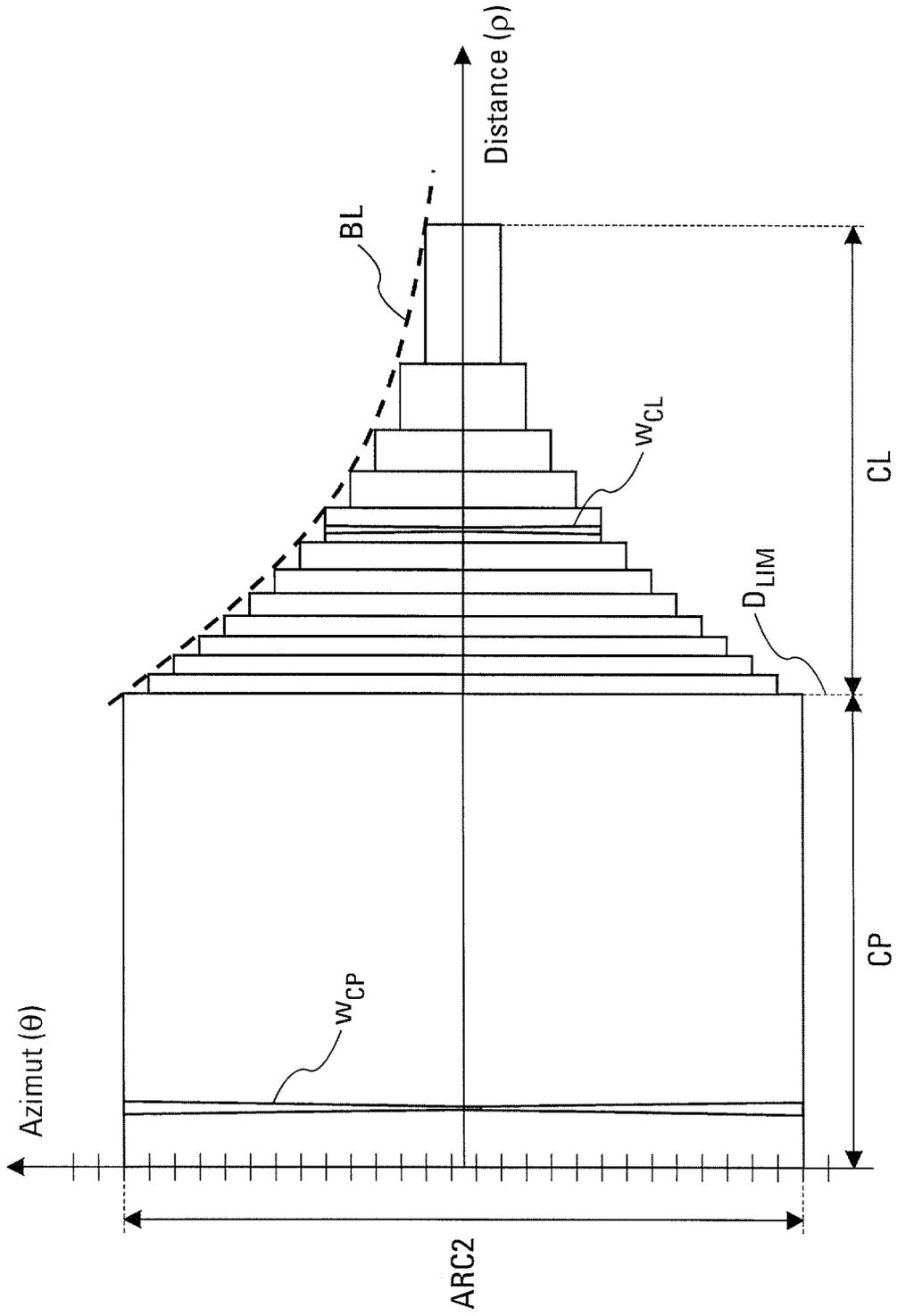


Fig. 16



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 642506
FR 0311892

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A,D	FR 2 692 996 A (THOMSON CSF) 31 décembre 1993 (1993-12-31) * revendication 5 *	1-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) G01S
A	US 6 628 225 B2 (SANFORD NORMAN RAY) 30 septembre 2003 (2003-09-30) * colonne 6, ligne 40 - colonne 7, ligne 22; revendication 2 *	1-8	
A	STEVENS M C: "Secondary Surveillance Radar" SECONDARY SURVEILLANCE RADAR, NORWOOD, ARTECH HOUSE, US, 1988, pages 168-170, XP002154909 * le document en entier *	1-8	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 avril 2004		Mercier, F	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p>		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0311892 FA 642506**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 06-04-2004

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2692996 A	31-12-1993	FR 2692996 A1	31-12-1993
		CA 2099701 A1	31-12-1993
		DE 69308657 D1	17-04-1997
		DE 69308657 T2	19-06-1997
		EP 0577478 A1	05-01-1994
		RU 2138062 C1	20-09-1999
		US 5432517 A	11-07-1995

US 6628225 B2	05-06-2003	US 2003102996 A1	05-06-2003
		EP 1316817 A2	04-06-2003
