(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 706 660**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **93 07331**

(51) Int Cl[5] : G 08 G 5/00

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 17.06.93.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : 23.12.94 Bulletin 94/51.

(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)** : *DASSAULT ELECTRONIQUE Société Anonyme* — FR.

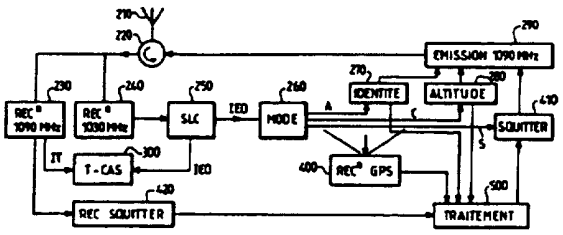
(72) **Inventeur(s)** : Guenneguez Alain et Valembois Jean-Marie.

(73) **Titulaire(s)** :

(74) **Mandataire** : Cabinet Netter.

(54) Aide anti-collision permanente pour aéronefs.

(57) Le dispositif d'aide anti-collision pour un aéronef, comprend, en combinaison:
- un moyen de détermination de position, possédant une précision de l'ordre de la centaine de mètres,
- un émetteur d'un signal répétitif de caractéristiques fréquentielles connues, portant à chaque fois une identification de l'aéronef et au moins la position de celui-ci,
- un récepteur desdits signaux émis par les autres aéronefs,
- des moyens pour décoder la position portée par chaque signal reçu, en correspondance de l'identification qu'il porte également,
- des moyens de suivi de la trajectoire des autres aéronefs, et
- des moyens pour comparer ces trajectoires à celle de l'aéronef considéré.



FR 2 706 660 - A1

Aide anti-collision permanente pour aéronefs.

L'invention concerne l'évitement de collisions entre aéronefs.

Les radars peuvent permettre à un aéronef de localiser des aéronefs environnants. Toutefois, certains facteurs, dont la difficulté de les rendre totalement omnidirectionnels, et leur coût relativement élevé, en rendent la généralisation difficile.

Une autre solution envisageable consiste à prévoir que chaque aéronef procède à une émission indiquant sa propre position.

Cette solution est assez délicate à mettre en oeuvre: il faut notamment éviter une "saturation" par un grand nombre d'informations de position transmises; il faut aussi assurer que la qualité des informations de position transmises est suffisante pour des besoins d'anti-collision, qui demandent une bonne précision. Ces deux contraintes sont particulièrement délicates à satisfaire simultanément.

On connaît des solutions d'application locale. Ainsi, les systèmes anti-collision pour aéronefs dits "T-CAS" tendent à se généraliser sur les avions de ligne, par l'équipement de ceux-ci en répondeurs ou "transpondeurs" T-CAS. Ces systèmes sont articulés sur des radars dits "radars secondaires de surveillance" (SSR), installés au sol, aux abords de certains aéroports. Leur nom de radar secondaire les oppose aux radars primaires, qui sont ceux utilisés pour le contrôle aérien dans un système non coopératif.

Indépendamment de leur application localisée, les systèmes T-CAS s'appuient essentiellement sur des fonctions de balayage angulaire fournies par le SSR. Ils ne constituent donc pas une aide anti-collision généralisable.

En conséquence, il n'existe pas actuellement de moyen simple, de coût raisonnable, qui soit aisément généralisable à toute une classe d'aéronefs concernés, tout en permettant à chaque aéronef

d'évaluer lui-même les risques de collision, sans nécessité de recourir à un poste central, et enfin dont l'application ne soit pas confinée à des zones particulières, telles que les aéroports.

La présente invention vient proposer une solution à ce problème.

La Demanderesse a observé tout d'abord que les aéronefs sont maintenant quasi systématiquement équipés d'un récepteur GPS. Après étude, elle a constaté que la précision de ceux-ci, typiquement la centaine de mètres, est suffisante pour des besoins d'aide anti-collision.

A côté de cela, elle a constaté que, dans le domaine aéronautique, on savait faire procéder par un aéronef à des émissions non saturantes, lorsqu'il approche un aéroport. Dans ce cas, il incombe à une station au sol de centraliser les informations.

Elle s'est alors aperçue que la combinaison de ces deux types de moyens, modifiés, pouvait fournir une solution au problème posé.

La présente invention propose tout d'abord un procédé d'aide anti-collision pour des aéronefs, dans lequel, de façon connue:

a) on équipe certains au moins des aéronefs d'un moyen individuel de détermination de position, possédant une précision de l'ordre de la centaine de mètres, tel que le GPS.

Ce procédé se complète des étapes suivantes:

b) on fait émettre, par les aéronefs ainsi équipés, de façon répétitive et sensiblement omnidirectionnelle, à une cadence de l'ordre de la seconde, un signal de caractéristiques fréquentielles connues, portant une identification de l'aéronef, complétée d'indications sur la position de celui-ci,

c) au moins au niveau des aéronefs équipés,

c1) on reçoit sélectivement les signaux émis par les autres aéronefs,

c2) on décode la position qu'ils portent, en correspondance de l'identification qu'ils portent également,

c3) on procède à un suivi de trajectoire des autres aéronefs, et

c4) on compare ces trajectoires à celle de l'aéronef considéré.

L'invention peut naturellement être exprimée également sous forme de dispositif.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 est un schéma général du système T-CAS connu, avec un radar secondaire de surveillance, une balise fixe ou PARROT, un avion et un avion "intrus" ;

- la figure 2 est le schéma de principe du dispositif installé à bord d'un aéronef pour la réalisation d'une fonction d'aide à la navigation et d'anti-collision ; et

- les figures 3 et 4 sont deux illustrations de format d'émission des données selon l'invention.

Les dessins annexés comportent des éléments de caractère certain qu'ils peuvent seuls représenter. En conséquence ils sont à considérer comme partie intégrante de la description. Ils pourront donc servir non seulement à mieux faire comprendre celle-ci, mais aussi pour compléter la définition de l'invention, le cas échéant.

Les systèmes anti-collision pour aéronefs dits "T-CAS" tendent à se généraliser sur les avions de ligne, par l'équipement de ceux-ci en répondeurs ou "transpondeurs" T-CAS. Opérationnels à l'approche des aéroports, ces systèmes sont articulés sur des radars installés au sol, dits "radars secondaires de surveillance" (SSR). Cette dénomination les oppose aux radars primaires, qui sont ceux utilisés pour le contrôle aérien dans un système non coopératif.

A toutes fins utiles, il est fait référence à la Demande de Brevet français No 91 09193, de la Demanderesse, publié sous le N° 2 679 359, qui contient une description générale des systèmes anti-collision pour aéronefs dits T-CAS, à la fois dans leurs modes anciens dits A/C, et dans leurs modes plus récents dits S.

Sur la figure 1, la référence 1 désigne un radar secondaire de surveillance (ou "SSR"). On considère qu'il est placé au point O. Il possède par exemple un aérien omnidirectionnel AOD, et un aérien directionnel ADI, sujet à balayage angulaire avec une vitesse angulaire W correspondant à une période de 4 secondes par exemple (chaque radar a une vitesse angulaire propre, mais fixe, correspondant à une période comprise entre 2 et 12 secondes; le sens de rotation des radars est partout le même).

La figure 1 fait également apparaître deux aéronefs 21 et 22, dont les aériens sont respectivement en position A et I ("intrus"). Ces aéronefs sont tous les deux équipés d'un transpondeur. L'un au moins (21) des aéronefs est également équipé de moyens de traitement, sur lesquels on reviendra plus loin.

Ce qui vient d'être décrit correspond à la base d'un des systèmes dits "TRAFFIC COLLISION AVOIDANCE SYSTEM" ou T-CAS. On distingue plusieurs types de T-CAS, différenciés par des chiffres romains. Cette distinction correspond essentiellement à la nature des manoeuvres d'évitement faites après la détection du risque de collision. Elle n'influe pas sur la nature des moyens de base utilisés.

Par contre, il existe par ailleurs un T-CAS dit "MODE S", où le dialogue entre les éléments de base précités est modifié. Ce mode spécifique sera considéré à nouveau plus loin.

La figure 2 fait apparaître la structure d'un transpondeur mode "S" pour aéronef.

L'antenne omnidirectionnelle du transpondeur, référencée 210, est reliée à un circulateur ou autre duplexeur 220, pour alimenter du côté réception, deux étages de réception 230 et 240 opérant respectivement aux fréquence de 1090 et 1030 mégahertz.

La fréquence de 1030 mégahertz, qui est celle sur laquelle opère le radar secondaire de surveillance, est traitée par un circuit de détermination de lobe secondaire 250, qui sépare les impulsions IED et IEO.

Ce circuit détermine le niveau moyen des impulsions omnidirectionnelles qui sont reçues en permanence par l'étage récepteur 240. Il considère comme impulsions directionnelles IED celles qui dépassent largement ce niveau moyen. En tout état de cause, le circuit 250 est néanmoins utile, pour éviter que le transpondeur ne réponde à une impulsion d'émission directionnelle qui lui parviendrait par les lobes secondaires de l'aérien du radar secondaire de surveillance 1.

Se trouvent ainsi discriminées les impulsions d'émission omnidirectionnelles IEO, répétitives à une cadence multiple de celles correspondant à la période de balayage angulaire du radar secondaire de surveillance (typiquement 200 Hz).

De temps à autre, on trouve un groupe de 2 impulsions d'émission directionnelle, qui sont alors appliquées à un circuit détecteur de mode 260, mesurant l'écart entre les impulsions de types P1 et P3. En 270 et 280, sont inscrites respectivement des informations relatives à l'identité de l'aéronef, et des informations concernant l'altitude mesurée par celui-ci, comme étant la sienne propre.

En fonction du fait que le détecteur 260 désigne un mode A ou un mode C, les informations codées d'identité ou d'altitude sont appliquées à un circuit 290 qui réalise l'émission de ces informations, modulant une onde porteuse à 1090 mégahertz, laquelle est transmise à l'antenne 210 par l'intermédiaire du circulateur 220.

Le transpondeur peut également comporter un circuit de traitement 300, qui reçoit toutes les impulsions d'émission omnidirectionnelles IEO, ainsi que la sortie d'un étage de réception séparée 230 à 1090 mégahertz, laquelle va lui fournir les impulsions réémises par des transpondeurs semblables à celui que porte l'aéronef considéré. Ces impulsions sont notées IT et servent au mode T-CAS classique (300).

Les radars secondaires de surveillance déjà existants sont prévus avec une portée de 200 à 400 kilomètres, suivant les pays. Ils sont implantés de façon telle qu'un aéronef soit vu à tout moment par au moins 3 de ces radars. Ce nombre peut être augmenté dans les zones de forte circulation aérienne.

En mode S, il est prévu que, pour faire connaître son adresse, tout aéronef émet spontanément toutes les secondes un signal dit "squitter" (le mot est un néologisme et sera utilisé ici). Un modulateur 410 est alors ajouté pour commander l'émetteur 290, et un décodeur 420 est alors relié à la sortie du récepteur 230.

L'homme du métier sait que les répondeurs T-CAS opérant en mode S possèdent une "adresse" individuelle, désignant de façon unique l'appareil porteur. Dans la norme qui définit ces adresses, des places sont réservées pour les radars secondaires ou SSR du système T-CAS, pour des balises que prévoit ce même système, ainsi qu'à d'autres fins.

En ce qui concerne le détail du mode S, il est fait référence à la norme internationale RTCA-DO-185. A toutes fins utiles, le contenu technique de ce document est à considérer comme partie

intégrante de la présente description, notamment quant aux émissions spontanées ou "squitters" des répondeurs mode S.

La Demanderesse s'est intéressée à l'utilisation de ces squitters non pas pour leur but classique, qui est de faire connaître l'adresse de l'aéronef porteur lorsqu'il entre dans la zone d'un radar secondaire de surveillance, mais à d'autres fins, qui sont en particulier la localisation de l'aéronef et l'évitement de collision, et ce de manière générale.

Un squitter classique possède une longueur de 56 bits, décomposée comme suit (figure 3):
- zone DF ou "downlink format" de 5 bits pour l'acquisition de la liaison répondeur vers SSR,
- zone CA ou "capability" de 3 bits pour définir les capacités de l'aéronef émetteur,
- zone AA ou "Aircraft Address" de 24 bits pour définir l'adresse internationale de l'aéronef émetteur, c'est à dire son identité,
- zone PI de 24 bits pour des informations de contrôle, essentiellement de parité.

La Demanderesse a observé qu'une zone supplémentaire, qu'il est envisageable d'insérer entre les zones AA et PI (figure 4), et que l'on nomme AM, avec une longueur de 56 bits, peut être utilisée selon la présente invention.

La Demanderesse estime que cette émission, répétée toutes les secondes, à la manière du système T-CAS mode "S", mais en toutes circonstances, permet de réaliser une aide anti-collision permanente entre aéronefs.

L'aéronef est également équipé d'un récepteur 400 du type GPS, qui permet, en mode normal, de déterminer la position de l'aéronef (latitude et longitude), avec une précision qui correspond, en termes de position, à la centaine de mètres. Le récepteur 400 fournit la longitude et la latitude, éventuellement l'altitude sous forme numérique.

Les instruments de navigation peuvent permettre d'y ajouter une altitude plus précise, éventuellement la route (cap) et la vitesse (en module) de l'aéronef.

Ceci constitue des données DS qui peuvent par exemple être agencées par l'unité de traitement 500 suivant le format de la figure 4, qui comprend:

- 3 bits de "type", indiquant si la mesure de position GPS est effectuée en mode normal , différentiel, ou selon un ou plusieurs modes spéciaux,

- un bit de temps, pour indiquer le temps relatif de la mesure GPS (deux valeurs: 0 ou 1 seconde),

- 19 bits de latitude avec 10 pieds (3 mètres) pour le bit le moins significatif (LSB), pour une gamme de 0 à 15° angulaires,

- 19 bits de longitude avec 10 pieds (3 mètres) pour le bit le moins significatif, pour une gamme de 0 à 18° angulaires,

- 12 bits d'altitude, avec une double définition:
  * LSB à 25 pieds (7,5 mètres) , pour une gamme de -1 à 56000 pieds (-0,3 à +16 800 mètres), et
  * LSB à 100 pieds (30 mètres), pour une gamme de 56000 à 127000 pieds (16800 à 33600 mètres). L'altitude est celle donnée par le GPS, ou mieux celle donnée par un alticodeur, par exemple barométrique, de l'aéronef, dont la précision est alors d'environ 30 mètres.

- 2 bits réservés.

L'aéronef considéré émet donc (410) son squitter ainsi constitué. Il reçoit (420) ceux des aéronefs environnants.

L'unité 500 réalise des extrapolations successives des positions des aéronefs environnants et de l'aéronef considéré, dans l'absolu, et/ou relativement à l'aéronef considéré.

L'unité 500 peut donc indiquer des conflits éventuels de trajectoires. Ceci permet déjà au pilote de conduire lui-même une manoeuvre d'évitement.

Une manoeuvre d'évitement pourra être suggérée par l'unité de traitement 500.

On a indiqué plus haut que les squitters sont émis toutes les secondes. Mais ceci n'est vrai que statistiquement. En effet, chaque squitter est émis sur la base d'une horloge qui marque la seconde, à laquelle il est ajouté une "gigue" égale à +/-20% d'une seconde. Cela signifie (figure 3) que si l'on considère les secondes, le temps pendant lequel chaque transpondeur pourra émettre est situé dans un intervalle de temps qui commence 0,2 seconde avant les tops de seconde et qui se termine 0,2 seconde après, soit 0,4 seconde en tout. La position de l'instant d'émission dans cet intervalle de temps est tirée au sort par exemple.

De préférence, pour la compatibilité avec les systèmes T-CAS, les squitters sont émis dans le mode habituel du système T-CAS, à savoir modulation d'amplitude par impulsions, avec retour à zéro (RZ).

La mesure de position GPS peut s'effectuer avantageusement:
- soit en "poursuivant" 5 satellites, ce qui permet de détecter l'incohérence des mesures, et pourrait suffire à la rigueur,
- soit en "poursuivant" 6 satellites, ce qui permet d'en tirer six groupes de 5 satellites, dont chacun fait l'objet d'une détection de l'incohérence des mesures, d'où la possibilité d'ignorer un satellite donnant des mesures non cohérentes. La Demanderesse considère la poursuite de 6 satellites comme nécessaire pour les avions.

De préférence, il est en outre procédé à une surveillance avec seuil de détection de réception variable, et un test du fait que la géométrie aéronef-satellites hémisphérique (visée hémisphérique de l'antenne du récepteur) est satisfaisante (suffisamment

déportée par rapport à l'axe d'antenne), de façon à éviter de considérer comme bonne une mesure satellite qui serait en fait mauvaise.

Le bit de temps permet de dater les indications GPS, par rapport à la périodicité d'émission, qui est ici la seconde.

L'émission est effectuée de préférence avec une puissance de l'ordre de la centaine de watts, correspondant à une portée pratique de 10 à 30 kilomètres.

L'invention permet, à faible coût, d'obtenir une aide anti-collision permanente entre aéronefs. L'équipement complémentaire est très faible pour les aéronefs munis d'un transpondeur en mode "S".

Pour les autres, il est aisément concevable de réaliser des équipements simplifiés, opérant les mêmes fonctions.

Bien entendu, la présente invention n'est pas limitée au mode de réalisation décrit.

Elle peut faire usage de tout mode de détermination de position par satellite, préférentiellement du mode dit GNSS (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM), qui est une extension du mode GPS actuel.

Par ailleurs, la taille de la zone utilisée n'est pas limitée à 56 bits; la cadence des squitters peut aussi être augmentée.

Toute mesure adéquate, plus précise, disponible à bord de l'aéronef, peut être utilisée pour améliorer la mesure GPS de mode normal.

Revendications

1. Procédé d'aide anti-collision pour des aéronefs, dans lequel:

a) on équipe certains au moins des aéronefs d'un moyen individuel de détermination de position, possédant une précision de l'ordre de la centaine de mètres,

caractérisé en qu'il comporte les étapes suivantes:

b) on fait émettre, par les aéronefs ainsi équipés, de façon répétitive et sensiblement omnidirectionnelle, à une cadence au plus d'environ une seconde, un signal de caractéristiques fréquentielles connues, portant la position de l'aéronef et une identification de celui-ci,

c) au moins au niveau des aéronefs équipés,

c1) on reçoit sélectivement les signaux émis par les autres aéronefs,

c2) on décode la position qu'ils portent, en correspondance de l'identification qu'ils portent également,

c3) on procède à un suivi de trajectoire des autres aéronefs, et

c4) on compare ces trajectoires à celle de l'aéronef considéré.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) est effectuée avec une fluctuation temporelle par rapport à la périodicité exacte.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) comprend en outre une séquence d'accrochage pour la démodulation.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le moyen de détermination de position est fondé sur un repérage par satellites.

5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen de détermination de position est un récepteur du type dit GPS.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) est effectuée en moyenne toutes les secondes environ.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) comprend au moins un "squitter" du dispositif d'aide anti-collision dit T-CAS en mode S.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) comprend:
- deux fois au moins 19 bits environ pour la latitude et la longitude, et
- au moins 12 bits environ d'altitude.

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que le codage d'altitude est susceptible d'une double définition.

10. Procédé selon l'une des revendications 8 et 9, caractérisé en ce que le codage d'altitude est effectué sur la base d'un alticodeur de l'aéronef.

11. Procédé selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que l'émission de l'étape b) comprend:
- au moins environ 3 bits de "type", indiquant si le mode de mesure de position, et

- au moins un bit de temps, pour indiquer le temps relatif de la mesure de position.

12. Dispositif d'aide anti-collision pour un aéronef, caractérisé en ce qu'il comprend, en combinaison:

- un moyen de détermination de position, possédant une précision de l'ordre de la centaine de mètres,

- un émetteur d'un signal répétitif de caractéristiques fréquentielles connues, portant à chaque fois une identification de l'aéronef et au moins la position de celui-ci,

- un récepteur desdits signaux émis par les autres aéronefs,

- des moyens pour décoder la position portée par chaque signal reçu, en correspondance de l'identification qu'il porte également,

- des moyens de suivi de la trajectoire des autres aéronefs, et

- des moyens pour comparer ces trajectoires à celle de l'aéronef considéré.

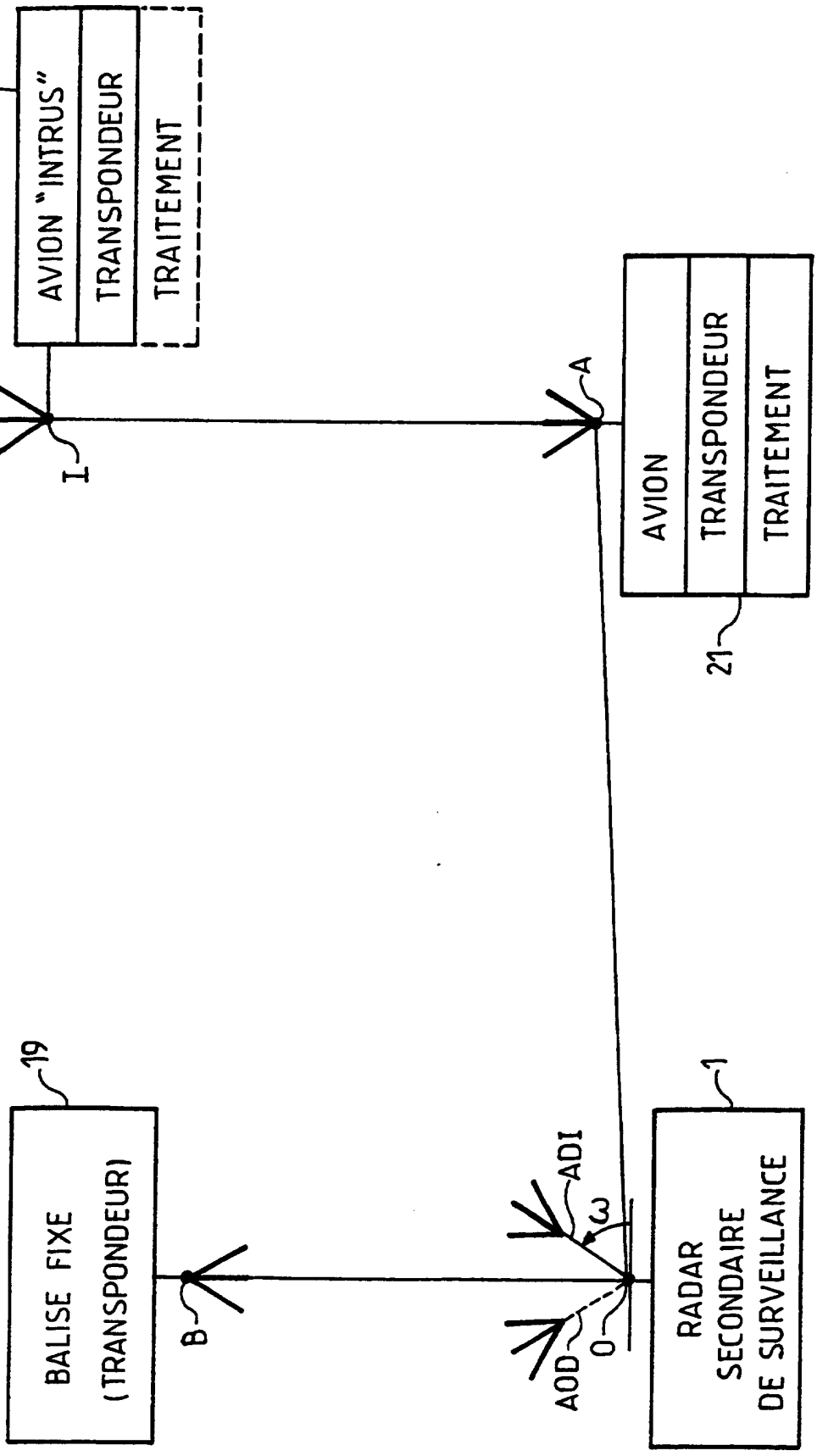

22
AVION "INTRUS"
TRANSPONDEUR
TRAITEMENT
I
A
AVION
TRANSPONDEUR
TRAITEMENT
21
19
BALISE FIXE
(TRANSPONDEUR)
B
ADI
ω
AOD
O
1
RADAR
SECONDAIRE
DE SURVEILLANCE

FIG.1

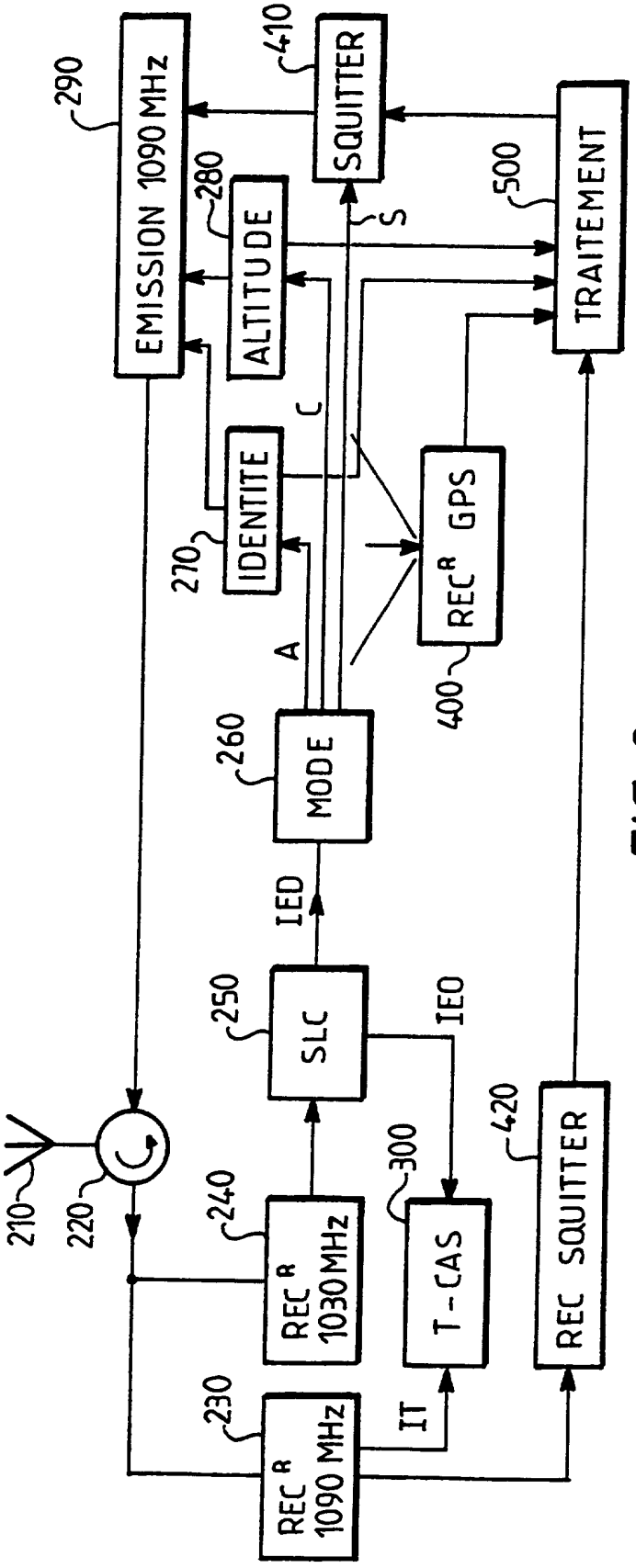


FIG. 2

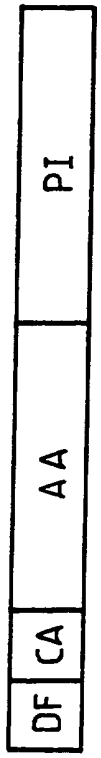


FIG. 3

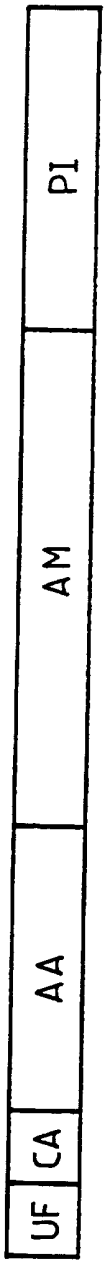


FIG. 4

REPUBLIQUE FRANÇAISE

2706660

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 488388
FR 9307331

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendications concernées de la demande examinée
X	US-A-4 835 537 (MANION) * le document en entier *	1,3-12
X A	WO-A-92 03746 (FRAUGHTON) * page 1, ligne 5 - page 26, ligne 27; figures 1-3 *	1,3-5,12 2,6-11
A	FR-A-2 632 755 (THOMSON-CSF, S.A.)	1,4,5,12
A	EP-A-0 454 537 (THOMSON-CSF) * le document en entier *	1-12
A	WO-A-88 00379 (LMT RADIO PROFESSIONNELLE) * le document en entier *	1-12
A	WO-A-93 01576 (HAKAN) * page 1, ligne 6 - page 14, ligne 10 *	1-12

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.5)

G08G
G01S

Date d'achèvement de la recherche: 16 Mars 1994

Examinateur: Reekmans, M

CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

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

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)

BAD ORIGINAL