(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication : **2 632 755**
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) N° d'enregistrement national : **88 07633**

(51) Int Cl⁴ : G 08 G 5/00; G 01 S 13/42.

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt** : 8 juin 1988.

(30) **Priorité** :

(43) **Date de la mise à disposition du public de la demande** : BOPI « Brevets » n° 50 du 15 décembre 1989.

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

(71) **Demandeur(s)** : *Société dite : THOMSON-CSF, Sté Anonyme.* — FR.

(72) **Inventeur(s)** : Claude Constant, *Thomson-CSF, S.C.P.I.*

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

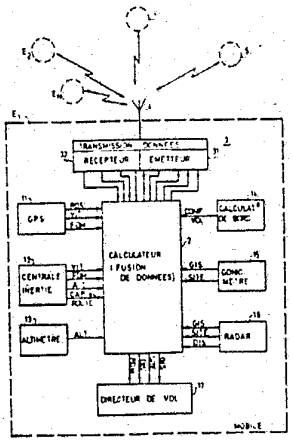
(74) **Mandataire(s)** : Roger Trocellier, Thomson-CSF, S.P.C.I.

(54) Système d'aide au déplacement de mobiles en formation groupée.

(57) L'invention permet de produire un vol en formation groupée par n'importe quel temps en toute sécurité.

Chaque mobile est équipé de capteurs 11, 12, 13, 15, 16 et de moyens de calcul 14 permettant de mesurer des données et des paramètres de vol incluant la position absolue, la vitesse, l'altitude et l'attitude du mobile E1. Chaque mobile est équipé en sus, selon l'invention, d'un émetteur-récepteur 3 pour transmettre les données aux autres mobiles E2 à EN, Lj, Sj de la formation et pour recevoir ces mêmes données correspondant à ces autres mobiles et d'un calculateur 2 qui opère la fusion des données selon un processus prédéterminé pour calculer les positions relatives des mobiles et en vue d'élaborer des ordres de pilotage pour corriger en temps réel la trajectoire du mobile.

L'invention s'applique avantageusement à la tenue de poste d'aéronefs, notamment d'hélicoptères.



FR 2 632 755 - A1

SYSTEME D'AIDE AU DEPLACEMENT DE MOBILES EN FORMATION GROUPEE

La présente invention concerne un système d'aide au déplacement de mobiles en formation groupée. Son application est plus particulièrement envisagée pour le déplacement d'aéronefs et, en particulier, d'hélicoptères ; un tel système est encore appelé tenue de poste hélicoptère.

Le transfert d'un grand nombre d'aéronefs, par exemple des hélicoptères, d'une base donnée vers une base assez éloignée nécessite un temps très long du fait que les hélicoptères sont transférés un par un. Cette condition est nécessaire par mesure de sécurité et du fait que le transfert peut être demandé dans des conditions mauvaises de visibilité, par exemple en présence de brouillard ou par vol de nuit.

Le but de l'invention est de produire un vol en formation groupée pour accélérer le transfert tout en prévoyant des conditions de vol ménageant la sécurité de l'opération. Les hélicoptères peuvent être, par exemple, réunis par formations de cinq à dix hélicoptères, chaque formation comportant un hélicoptère guide dit "leader" et les autres hélicoptères dits esclaves qui volent à l'arrière du leader et qui sont positionnés de manière déterminée par rapport au leader et par rapport aux voisins de manière à éviter toute collision en vol compte tenu des dérives ou écarts envisageables. Les formations elles-mêmes se suivront dans le temps avec un décalage qui peut être assez réduit et le transfert peut ainsi s'opérer dans un délai beaucoup plus court.

Le vol en formation groupée d'aéronefs s'effectue généralement dans des bonnes conditions de visibilité et à vue.

Un objet de l'invention est de produire un vol en formation groupée et serrée utilisable par n'importe quel temps,

notamment en cas de mauvaise visibilité, en résolvant les différents problèmes qui peuvent se poser et qui sont essentiellement le positionnement de chaque mobile esclave par rapport au mobile leader et par rapport aux autres mobiles esclaves, et le positionnement entre formations successives, le vol s'effectuant généralement dans des conditions d'altitude données en dehors des phases de décollage et d'atterrissage.

Suivant l'invention, on équipe chaque mobile de la formation par un système qui permet ensuite de fournir des informations de pilotage pour produire des manoeuvres correctrices sur le déplacement de chaque mobile dans le but de maintenir et de faire évoluer la formation dans une configuration donnée qui peut éventuellement varier au cours du temps selon des critères prédéterminés.

La solution est particulièrement adaptée au problème de tenue de poste avion ou hélicoptère pour effectuer leurs déplacements en formation afin que chaque équipier d'une formation garde par rapport aux autres ou à un leader absolu (station au sol), une position relative de consigne et une vitesse.

Les aéronefs modernes possèdent des appareils de mesures ou capteurs permettant de leur donner leurs propres informations de vitesse et de cap, et/ou de route, et parfois des informations de position absolue par rapport à un repère terrestre et/ou d'altitude et d'attitude. Ces informations proviennent généralement de la centrale inertie où les systèmes comme GPS (Ground Position System, ou système de position sol), DECCA, OMEGA, TRANSIT, etc.

Selon l'invention on équipe l'aéronef avec un système d'aide au déplacement qui permet d'échanger entre membres du groupe les informations précitées par voie hertzienne, afin que chaque aéronef dispose à bord, de l'ensemble des informations présentent dans la formation à un moment donné, et qui permet de calculer à partir de ces informations les positions relatives de chaque aéronef. Ces informations sont ensuite traduites en

ordres de pilotage en fonction, notamment, de consignes fournies par le leader (altitude, cap, vitesse) et de lois de pilotage conventionnelles préprogrammées, de manière à fournir au dispositif de pilotage (pilote ou au pilote automatique), des informations de correction en temps réel de la trajectoire de l'aéronef.

Dans le cas particulier où chaque aéronef est équipé aussi de dispositifs de mesures de position relative (distance, gisement, site), le système d'aide permet, à partir de la redondance des informations disponibles et par une "fusion de données" adéquate, d'optimiser la densité spectrale de l'erreur sur les informations de position relative en fonction de la phase de vol (régime quasi- stationnaire de la formation ou procédure d'éclatement ou rapidement variable) et en fonction de la qualité des informations disponibles à bord généralement connues sous la forme d'une figure de mérite (GPS, Centrale à inertie, etc.).

Le système peut alors fournir avec les informations de position relative, une figure de mérite représentant un indice de qualité des données fournies au pilote.

Selon l'invention il est réalisé un système d'aide au déplacement de mobiles en formation groupée dans lequel chaque mobile est équipé d'un calculateur de bord et de capteurs pour mesurer les données de position absolue, de vitesse de cap (ou route) et d'altitude du mobile, et un dispositif de pilotage, caractérisé en ce que sur chaque mobile sont prévus des moyens de transmission hertzienne pour transmettre lesdites données aux autres mobiles et recevoir les données correspondantes relatives aux autres mobiles, et des moyens de calculs opérant la fusion des données selon un processus prédéterminé et en fonction de paramètres de vol pour produire par le dispositif de pilotage des manoeuvres correctives sur chaque mobile et maintenir le vol en formation groupée avec un positionnement relatif des mobiles respectant des valeurs de

consigne et des relations prédéterminées desdites données et paramètres de vol.

Les particularités et avantages de l'invention apparaîtront dans la description qui suit donnée à titre d'exemple à l'aide des figures annexées qui représentent :

- Fig.1, un exemple de formation possible montrant certaines données de positionnement relatif des mobiles entrant en jeu pour effectuer la tenue de poste ;
- Fig.2, un schéma partiel complémentaire de la figure 1 mettant en évidence d'autres données ;
- Fig.3, un diagramme général d'un système d'aide au déplacement de mobiles conforme à l'invention ;
- Fig.4, un bloc diagramme plus détaillé du système selon la figure 2 monté sur un mobile et relié à des capteurs ;
- Fig.5, un exemple de logigramme relatif à la fusion de données ;
- Fig.6 et suivantes, des schémas relatifs à un exemple d'utilisation d'un système d'aide au déplacement de mobiles conforme à l'invention.

En se reportant à la figure 1, la formation Fj comporte un certain nombre de mobiles dont un mobile leader ou mobile de tête Lj qui indique la route et par rapport auquel les autres mobiles dits esclaves doivent rester positionnés spatialement avec des tolérances déterminées. Ces tolérances jouent en particulier sur les données de positionnement spatial relatif, ces données incluant en premier lieu la distance DLj par rapport au leader Lj pour un mobile Ej, le gisement Gj par rapport à une direction de référence Dr qui peut être la direction de cap du leader, et le site Sj présenté par le mobile esclave Ej par rapport au leader Lj. Ce dernier paramètre est représenté sur le schéma complémentaire figure 2 ; sur la figure 1 le site n'a pas été pris en compte pour simplifier la représentation.

Les formations Fj-1, Fj,... peuvent être d'un autre type, par exemple, comporter un leader absolu et des leaders relatifs associés chacun à des mobiles esclaves.

Les mobiles peuvent être répartis en plusieurs formations. La formation précédente Fj-1 a été représentée à titre d'exemple avec son leader Lj-1. L'espacement entre formations peut être résolu en prenant en compte la distance séparant les leaders successifs Lj-1 et Lj.

Comme il apparaît sur la figure 1, d'autres paramètres interviennent pour le positionnement relatif des mobiles. En particulier les distances entre mobiles esclaves, par exemple D1N entre le mobile E1 et le mobile EN, N étant le nombre de mobiles esclaves. La configuration de l'ensemble des mobiles de la formation est prédéterminé en tenant compte d'une distance minimale de sécurité entre les mobiles pour éviter les collisions. Il est entendu que les mobiles peuvent évoluer dans des plages d'altitude différentes. D'autres paramètres à prendre en compte comportent notamment la vitesse, le cap (ou route) et l'attitude de chaque mobile.

Ainsi qu'il a été dit précédemment les dispositifs de mesure équipant le mobile, en particulier des capteurs, permettent d'obtenir déjà certaines données dont la position absolue du mobile par rapport à un repère sol.

Le système d'aide au déplacement de mobiles se compose essentiellement, comme représenté sur la figure 3, en liaison avec les capteurs qui fournissent les signaux utiles à travers un interface 1, un calculateur 2 et un dispositif de transmission de données 3 (Data Link) lequel est couplé à une antenne 4 pour transmettre les données du mobile aux autres mobiles et recevoir de même, de ceux-ci, leurs données. Le calculateur 2 gère toutes ces données selon un processus de traitement et de calcul pré-établi qui comporte essentiellement une fusion de données permettant de calculer les positions relatives et de délivrer au pilote ou au pilote automatique (PA) indiqué par la mention directeur de vol les ordres de pilotage

permettant à celui-ci de rectifier, le cas échéant, la position des mobiles et préserver la formation désirée.

La figure 4 montre, à titre d'exemple, les liaisons avec des capteurs 11,12,13,15,16 et les données provenant des capteurs et d'un calculateur de bord 14 et utilisées dans le calculateur 2 pour effectuer la fusion de données. Les circuits d'interface ne sont pas indiqués.

Les données sont constituées par des informations provenant des capteurs divers ayant des caractéristiques spectrales d'erreurs bien définies et éventuellement complémentaires pour chaque capteur, ainsi qu'une cadence d'échantillonnage typique. L'ensemble des informations présentes dans la formation à un instant donné est redondante et peut varier dans le temps suivant en particulier les critères ci-après : masques radioélectriques, pannes ou dégradations de performances, brouillages volontaires ou non, fonctionnement intermittent (GPS), etc. A titre indicatif, les capteurs mentionnés fournissent les données indiquées. Pour le GPS 11 ou un équipement de positionnement absolu ces données sont : la position, la vitesse et une figure de mérite (ou facteur de mérite), pour la Centrale à inertie 12 : la vitesse l'attitude du mobile, le cap (ou route) et également une figure de mérite ; pour l'altimètre 13 : l'altitude ; pour le goniomètre 15 : le site et la gisement ; pour un radar 16 : le gisement, le site et la distance ; enfin, pour le calculateur de bord 14 équipant le mobile : la configuration de vol du mobile.

Le système de transmission de données 3 comporte un récepteur 32 et un émetteur 31. Il émet vers les autres mobiles les informations relatives au mobile considéré comprenant entre autres cap (ou route), vitesse, position, gisement, site, distance, altitude et figures de mérite associés. Il reçoit les mêmes informations de données des autres mobiles de la formation par voie hertzienne par l'intermédiaire de l'antenne 4.

Le calculateur 2 élabore les éléments de positionnement : site, gisement, distance et figure de mérite et

élabore les ordres de pilotage à adresser au directeur de vol 17 en fonction du positionnement relatif du mobile par rapport aux autres mobiles de la formation. Pour effectuer le processus de fusion de données des paramètres sont utilisés, ces paramètres étant liés aux phases de vol de la formation dont les caractéristiques de la dynamique des trajectoires sont très spécifiques de ces phases en ce qui concerne les vitesses propres, le cap, l'altitude, l'accélération des mobiles. Les erreurs de certains capteurs sont fonction de ces phases de vol en particulier ceci vaut pour le GPS, la centrale à inertie et le goniomètre.

Les principales phases de vol sont les suivantes : mise en formation de vol rectiligne uniforme après un décollage, vol stabilisé, mise en configuration de virage de la formation, procédure d'éclatement en cas de danger immédiat, ralliement d'un ailier éloigné et intégration dans la formation, phase d'atterrissage.

Les informations résultantes produites par le processus de fusion de données, permettent au pilote de connaître sa position relative (distance, gisement, site) par rapport à l'équipier leader avec une erreur caractérisée par une figure de mérite. Le traitement est déterminé de manière à optimiser, en fonction des données et des paramètres précités,les informations résultantes afin d'obtenir une erreur minime et une sécurité importante du vol en formation.

Les éléments transmission de données 3 et interface 1 permettent la capture et la centralisation des données de la formation au niveau de chaque équipier Ej, ainsi que la distribution du résultat (position relative) vers les autres équipiers et vers le directeur de vol ou pilote automatique.

Le calculateur en temps réel 2 permet, grâce à un logiciel de réaliser l'algorythme choisi pour la fusion de données.

La figure 5 représente, à titre d'exemple, un logigramme de la fusion de données. Ce processus apparaîtra

plus clairement dans ce qui suit à l'aide de la description d'un exemple de réalisation du système d'aide au déplacement de mobiles ; est considéré dans cet exemple, l'obtention d'une tenue de poste hélicoptère.

Pour effectuer la transmission donnée, chaque hélicoptère est équipé d'une antenne omnidirectionnelle. La partie électronique émetteur-récepteur peut répondre aux caractéristiques suivantes : fréquence bande L ou S, puissance d'émission 0,1W à 10W ; mode de fonctionnement TDMA Time Division Multiple Acces) en réseau synchronisé ; protection contre les brouilleurs par code d'étalement de spectre (par exemple 64 moments de 62ns représentant un bit d'information dont la durée est de 4microsec. et par asservissement de la puissance d'émission au bilan de liaison ; la capacité de dialogue est de 10 hélicoptères en formation et d'un hélicoptère appartenant à une autre formation ou d'une station sol éloignée, soit 46 liaisons bidirectionnelles dont la trame d'échange aura une durée 100ms (cadence de renouvellement des échanges de l'ordre de 10Hz). La structure d'un message d'un hélicoptère vers un autre hélicoptère peut comporter 16 octets plus un bit de parité. Les octets peuvent se répartir pour les informations suivantes : synchro, mode, vitesse fusionnée, cap fusionné, position longitude GPS, position latitude GPS, figure de mérite, distance relative (2 octets), gisement relatif, distance fusionnée (2 octets), gisement fusionné, figure de mérite, altitude, "checksum" (tests). Chaque bit ayant une durée d'environ 4microsec. et l'ensemble des 16 octets du message et du bit de parité représentant une durée de l'ordre de 0,6microsec. Le motif de synchronisation est constitué par exemple de neuf "1". La parité des autres éléments du message est paire. Les bits sont exprimés en DPSK (Differential Phase Shift Keying, Modulation de phase différentielle).

La fonction mode permet de modifier le contenu du message suivant différentes phases d'utilisation qui peuvent être les suivantes :

- mode 1 : tenue de poste, calcul des ordres de guidage ;
- mode 2 : tenue de poste, transmission des consignes par le leader et des acquittements par les autres hélicoptères ;
- mode 3 : atterrissage ;
- mode 4 : liaisons avec le contrôle sol.

La capacité de transmission instantanée est de 252Kbits/sec et la capacité utile moyenne est de 103Kbits/sec. La capacité de transmission utile par ailier est de 8,9Kbits/sec. et celle utile du leader est de 11,2Kbits/sec.

Les liaisons hertziennes à assurer pour une formation par exemple réduite à cinq hélicoptères, comportent les quatre liaisons reliant chaque hélicoptères aux autres soit dix liaisons pour la formation comme représenté schématiquement sur la figure 6 avec, en outre, la liaison entre le leader H1 et le leader H0 d'une formation voisine (ou une station au sol). On considère sur ce schéma les hélicoptères esclaves H2,H3,H4, et H5 de la formation, H1 étant l'hélicoptère leader.

La structure des échanges correspondant à un message est donnée par la figure 7. L'hélicoptère leader H1 est successivement relié à l'hélicoptère leader H0 (ou station au sol), puis à chaque hélicoptère esclave de la formation H2,H3,H4 et H5. Ceux-ci sont ensuite reliés à leurs voisins esclaves par exemple H2 et reliés successivement à H3,H4 et H5. Ensuite H3 est lui-même relié à H4 et H5 et finalement H4 à H5. On obtient ainsi toutes les liaisons bidirectionnelles voulues. Le schéma représenté est généralisable pour un nombre plus élevé de mobiles dans la formation.

On a indiqué par TC la durée d'un cycle correspondant à une liaison bidirectionnelle entre deux hélicoptères. TE indique la période de la trame correspondant à l'obtention des différents échanges.

La figure 8 représente en détail la répartition temporelle de l'émission et la réception de messages de durée TM entre deux hélicoptères désignés de manière générale par HJ et HK pendant un cycle TC. La liaison entre HJ et HK fait un

léger décalage au niveau de la réception HK représentatif du délai de transmission compte tenu de l'éloignement des mobiles. L'émission en sens inverse de HK vers HJ s'effectue après une durée T_m représentant un temps de marge pour tenir compte du délai de transmission maximal entre les deux hélicoptères dont l'éloignement peut atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. La durée TC du cycle est prévue en sorte que la réception par HJ du message en retour se termine à un instant qui présente encore un certain délai de marge T_m jusqu'au début du cycle suivant. La durée du message TM est, par exemple, de 0,57ms la durée de marge T_m pourra être de 0,52ms et la durée du cycle de 2,2millisecondes.

La figure 9 représente un bloc diagramme du système d'aide au déplacement de mobiles. On distingue dans la partie correspondant à l'émetteur 3 pour la partie émetteur, un circuit de codage DPSK 311 suivi d'un modulateur 312 et des circuits d'émission proprement dits 310. Un générateur de séquences de codes à étalement pseudo-aléatoire 313 est connecté au modulateur. L'émetteur reçoit une commande de gain S0 et l'un des signaux de synchronisation S1 d'un synthétiseur 33, lui-même contrôlé par un pilote 34 à partir d'un séquenceur 35. Du côté réception, les circuits réception proprement dits 320 sont suivis d'un corrélateur 321 qui peut être constitué par une ligne à commande de phase acoustique suivie d'un démodulateur DPSK 322.

La synchronisation est obtenue à partir de l'hélicoptère leader dont la trame d'échange est rythmée par un compteur en mode relaxé.

Les hélicoptères esclaves synchronisent leur trame sur celle du leader en mettant à l'heure leur horloge par réception d'un top de synchronisation provenant du leader. Les grilles des participants du réseau étant synchronisées il est alors superflu de faire un adressage des messages.

Le système d'aide au déplacement peut être connecté selon le schéma représentée sur la figure 10. Le calculateur 2

comporte de manière conventionnelle un micro-processeur, des mémoires mortes programmables dites PROM, des mémoire vives dites RAM, un organe de gestion des interruptions, une horloge et des circuits spécifiques de commande et de contrôle. Cette architecture type n'est pas détaillée. Le logiciel supporté par la carte calculateur est déterminé pour réaliser des fonctions particulières pour le problèmes à résoudre et qui peuvent être résumées de la manière suivante :

- réception des informations provenant de l'hélicoptère par l'intermédiaire de l'interface,
- élaboration des messages et leur habillage (parité + "checksum") en conformité avec une grille d'échange TDMA (fig.7) définie dans les mémoires mortes,
- gestion de la commande de gain et des instants d'émission de l'émetteur,
- gestion de la fréquence d'émission/réception dans le cas d'une transmission de données à sauts de fréquence (anti-brouillage),
- réception des messages provenant du récepteur et contrôle de "checksum" et parité,
- transmission des données reçues vers le calculateur des fusions de données à travers un bus,
- surveillance par BITE incorporé du bon fonctionnement de l'unité électronique.

L'organisation matérielle du système de tenue de poste et représenté dans son ensemble sur la figure 10 où l'on voit les liaisons entre les divers éléments déjà existants à bord, calculateur, capteurs, coordinateur de vol avec le système d'aide groupant les éléments 2,3 et 4 par l'intermédiaire d'un bus hélicoptère et des circuits interfaces non représentés.

Les liaisons servent à transmettre les données de différents types référencées DT1 pour le type 1, DT2 pour un type 2, etc. Les données DT1 proviennent des différents capteurs à bord de l'hélicoptère. Les données DT4 comportent les données, les résultats et les consignes pour la formation, les données DT5 les ordres de pilotage et DT6 la configuration

de vol. Les données DT2 regroupent DT1, DT4 ; DT3 regroupent DT2, DT5 et DT6.

Les fonctions principales du logiciel du calculateur 2 effectuant la fusion de données sont les suivantes :

- réalisation du processus de fusion de données à partir des données provenant de la formation et fournies par les systèmes de traitement de données 3 dont les résultats se traduisent par la position relative (distance, gisement et site) d'un ailier par rapport à un leader, associé à indice de qualité (figure de mérite),
- contrôle des résultats deux à deux, à partir des résultats provenant de la formation et fournis par le système de transmission de données,
- calcul et transfert des ordres à fournir aux directeurs de vol ou pilote automatique PA, à partir des résultats de la fusion de données et des consignes fournies par le leader, par l'intermédiaire du système de transmission de données en tenant compte des lois de pilotabilité pré-établies.

Les ordres de pilotage qui servent à exciter le dispositif de pilotage automatique PA, ou le directeur de vol, sont le résultat combiné de :

- la position relative de consigne pour la configuration de vol donnée,
- la position relative réelle des hélicoptères dans la formation,
- la consigne de cap, d'altitude et de vitesse provenant du leader,
- et des lois de pilotabilité propres au type de machine.

Il faut souligner que les ordres de rattrapage de trajectoire donnés au pilote d'un appareil doivent tenir compte de la position relative des ailiers pour éviter une manoeuvre corrective qui amènerait un risque de collision.

Sur la figure 11, on a représenté, à titre d'exemple, les positionnements de consigne du leader Lj et de deux esclaves EC1,EC2 ; les emplacements E1 et E2 des esclaves correspondent aux positions réelles à l'instant considéré. Dans ce cas de

figure la distance "d" entre la position EC1 de consigne et la position réelle E2 est insuffisante et le mobile E1 doit attendre que le mobile E2 ait rattrapé une partie de son erreur pour que la distance "d" devienne compatible d'une valeur de sécurité prédéterminée, avant de procéder à sa manoeuvre de rattrapage de position EC1 de consigne.

Un exemple de calcul des ordres basés sur une cinématique plane et ne faisant pas intervenir les lois de pilotabilité est indiqué ci-après en ce reportant à la figure 12.

. C position de consigne de l'hélicoptère Hj

. C_c Cap de consigne

. Vpc vitesse propre de consigne

. Djc distance de consigne par rapport au leader Hi

. Données transmises de Hi vers Hj : Ci, Vpi, θ ji, Dgi

. Données transmises de Hj vers Hi : Cj, Vpj, θ ij, Dij

. A bord de Hj on effectue :

- Calcul α ji = Ci + θ ji

  α ij = Cj + θ ij

- Vérification

  α ji - α ij = $\pi \pm \varepsilon$

  Si $\varepsilon \leq \varepsilon_o$ Moyennage des 2 mesures

  Si $\varepsilon > \varepsilon_o$ ⟶ alarme

- Vérification

  Dij = Dji $\pm \varepsilon$

  Si $\varepsilon \leq \varepsilon_o$ Moyennage des 2 mesures

  Si $\varepsilon > \varepsilon_o$ ⟶ alarme

- Calcul de l'erreur de position entre position réelle A et position de consigne C

  L'erreur est projetée sur le Cap de consigne

en $\begin{cases} \varepsilon 1 & \text{selon une direction perpendiculaire au Cap} \\ \varepsilon r & \text{suivant le Cap} \end{cases}$

Le calcul utilise :

$$\begin{cases} \alpha j^* = (dji - \pi + \alpha ij)^* / 2 \\ Dj = (Dij + Dji) / 2 \end{cases}$$

(*) = Filtrage passe-bas pour réduire le bruit de mesure

$$\begin{cases} Rj = Dj \cos (\alpha j^* - \alpha jc) - Djc \\ Lj = Dj \sin (\alpha j^* - \alpha jc) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varepsilon r = Rj \cos (\alpha jc - Cc) + Lj \sin (\alpha jc - Cc) \\ \varepsilon 1 = Rj \sin (\alpha jc - Cc) - Lj \cos (\alpha jc - Cc) \end{cases}$$

- Elaboration des ordres de ralliement

. Ordre en cap εC

Cet ordre permet d'annuler le terme $\varepsilon 1$

$$\varepsilon C = K1 (Cj - Cc) + K2 (Cj - Ci) + K3 (\varepsilon L)$$

K1 et K2 sont des caps permettant d'anticiper l'évolution en cap en fonction des écarts mesurés entre les caps
(Cj - Cc) et (Cj - Ci)
K3 peut dépendre de $|Vpj|$

. Ordre en vitesse εVp

$$\varepsilon Vp = K4 (Vpj - Vpc) + K5 (Vpj - Vpi) + K6 (\varepsilon R)$$

εC et εV peuvent attaquer le pilote automatique PA et/ou une indication à aiguilles croisées.

REVENDICATIONS

1. Système d'aide au déplacement de mobiles en formation groupée dans lequel, chaque mobile est équipé d'un calculateur de bord, de capteurs pour mesurer les données provenant des capteurs et des paramètres de vol, lesdits données et paramètres incluant la position absolue, la vitesse, le cap (ou route) et l'altitude du mobile, et un dispositif de pilotage, caractérisé en ce que sur chaque mobile sont prévus des moyens de transmission hertzienne (3,4) pour transmettre aux autres mobiles lesdits données et paramètres et recevoir les données et paramètres correspondants relatifs aux autres mobiles, et des moyens de calculs (2) opérant la fusion des données selon un processus prédéterminé en vue de produire par le dispositif de pilotage des manoeuvres correctives sur chaque mobile et maintenir le vol en formation groupée avec un positionnement relatif des mobiles respectant des valeurs de consigne et des relations prédéterminées desdits données et paramètres de vol.

2. Système d'aide selon la revendication 1, caractérisé en ce que le processus de fusion est déterminé pour calculer lesdites positions relatives de chaque mobile de manière à fournir au dispositif de pilotage des ordres de pilotage permettant de corriger en temps réel la trajectoire de chaque mobile.

3. Système d'aide selon la revendication 1 ou 2, et dans lequel chaque mobile est aussi équipé de dispositifs de mesure de position relative assurant une redondance supplémentaire d'informations de données, caractérisé en ce que le processus de fusion est déterminé de manière à optimiser la densité spectrale de l'erreur suivant les informations de position relative calculées en fonction de la phase de vol et en fonction de la qualité des informations disponibles à bord selon une figure de mérite.

4. Système d'aide selon l'une quelconque des revendication précédentes, caractérisé en ce que chaque formation groupée comporte au moins un mobile leader (Lj,H1) et des mobiles esclaves (E1 à EN, H2 à H5), les données comportant : la distance, le gisement et le site présentés par chaque mobile esclave par rapport au leader, les distances entre mobiles esclaves, outre des paramètres de vol tels que la vitesse propre, le cap (ou route), l'accélération et l'altitude de chaque mobile.

5. Système d'aide selon la revendication 4, caractérisé en ce qu'il est déterminé pour régir plusieurs formations successives, chaque formation étant éloignée de la suivante de manière suffisante en prenant en compte dans le processus de fusion de la distance entre les mobiles leaders de deux formations successives (Fj et Fj-1).

6. Système d'aide selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les capteurs incluent un GPS (11) délivrant des informations de position, vitesse et figure de mérite ; une centrale à inertie (12) délivrant les informations de vitesse, cap (ou route), figure de mérite et attitude ; un altimètre (13) délivrant l'information d'altitude ; un goniomètre (15) délivrant les informations gisement et site ; un radar (16) délivrant les informations gisement, site et distance ; et un calculateur de bord (14) qui délivre des informations relatives à la configuration de vol présentées par le mobile, toutes ces informations étant transmises aux moyens de calcul (2) effectuant la fusion de données et élaborant les données de position relative, site, gisement et distance, ainsi que, le cas échéant, une figure de mérite vers un dispositif de pilotage (17).

7. Système d'aide selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que les moyens de transmission hertzienne comportent un émetteur (31) recevant desdits moyens de calcul (2) les informations à émettre comprenant celles de position relative du mobile par rapport aux

autres mobiles et les données provenant des capteurs du mobile considéré pour les acheminer vers les autres mobiles de la formation et un récepteur (32) pour recevoir réciproquement les données correspondantes des autres mobiles et les faire parvenir auxdits moyens de calcul (2).

8. Système d'aide selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que les liaisons des capteurs (11 à 16), du calculateur de bord (14) et du dispositif de pilotage (17) auxdits moyens de transmission hertzienne (3,4) et de calcul (2) s'effectuent par l'intermédiaire d'un bus.

9. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission hertzienne (3) fonctionnent séquentiellement de manière à produire successivement une liaison hertzienne bidirectionnelle entre un premier mobile (H1) et un deuxième mobile (H2) au cours d'un premier cycle (TC), puis la liaison entre ce premier mobile et un troisième mobile (H3) de la formation au cours d'un deuxième cycle, et ainsi de suite au cours de cycles successifs de manière à assurer les différentes liaisons bidirectionnelles entre tous les mobiles de la formation ainsi qu'éventuellement une liaison bidirectionnelle entre les mobiles leaders (H1 et H0) de deux formations successives.

10. Système d'aide selon la revendication 9, caractérisé en ce que la réception du message à bord d'un mobile est décalée par rapport à l'émission d'un message vers le mobile émetteur d'une durée prédéterminée (T_m) de manière à tenir compte de la distance d'éloignement entre mobiles.

11. Système d'aide selon l'une quelconque des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de transmission hertzienne utilisent une modulation DPSK avec possibilité d'étalement selon un code pseudo-aléatoire.

12. Système d'aide selon l'une quelconque des revendications précédentes utilisé pour la tenue de poste d'aéronefs.

FIG_1

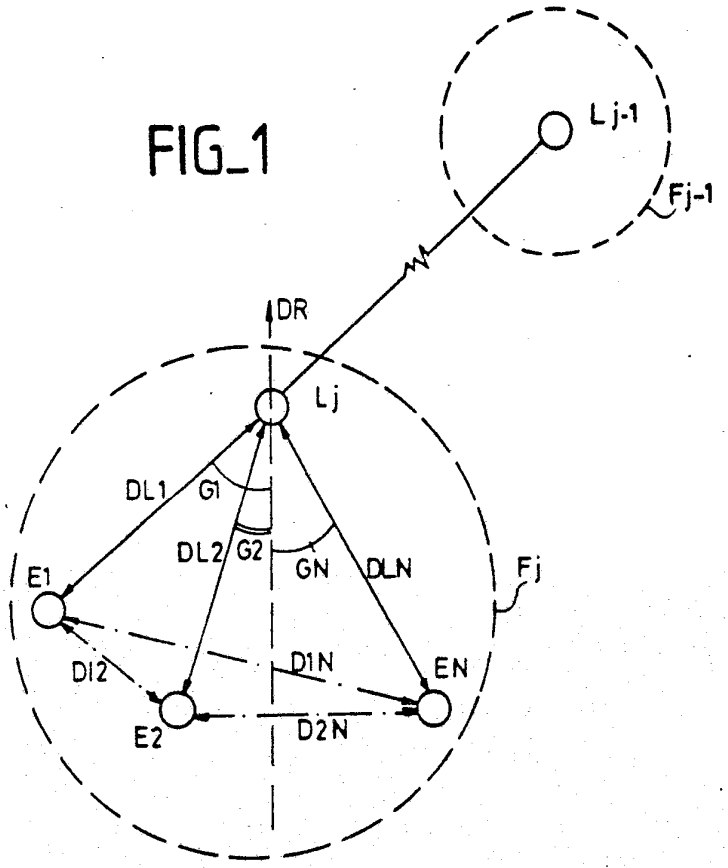


FIG_2

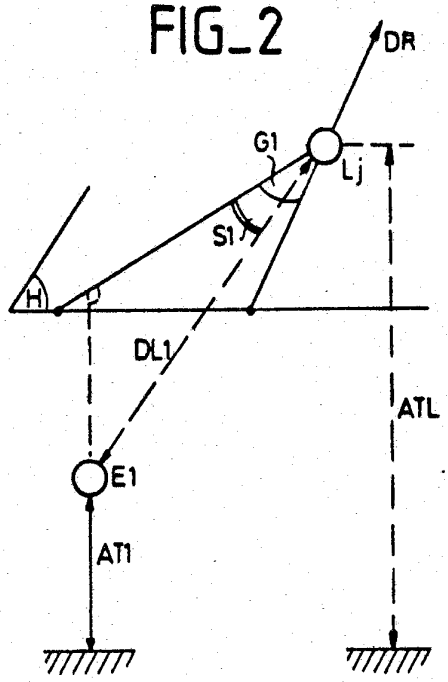
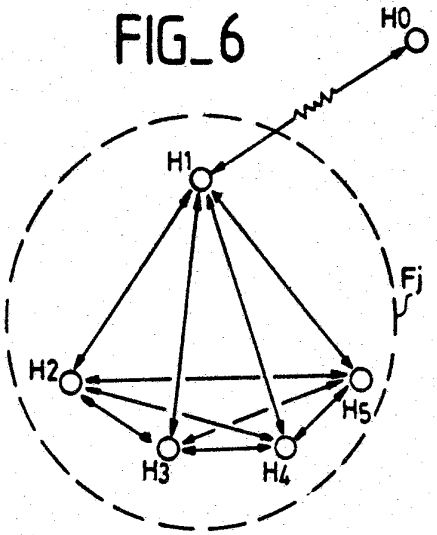


FIG_6



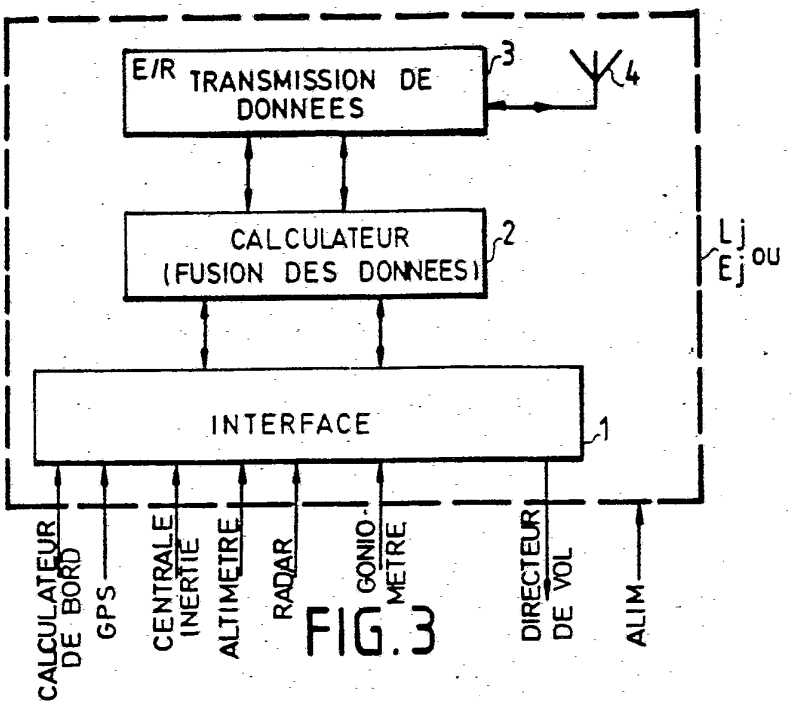

E/R TRANSMISSION DE DONNEES
3
4
CALCULATEUR (FUSION DES DONNEES)
2
Lj Ej ou
INTERFACE
1
CALCULATEUR DE BORD
GPS
CENTRALE INERTIE
ALTIMETRE
RADAR
GONIO METRE
DIRECTEUR DE VOL
ALIM

FIG.3

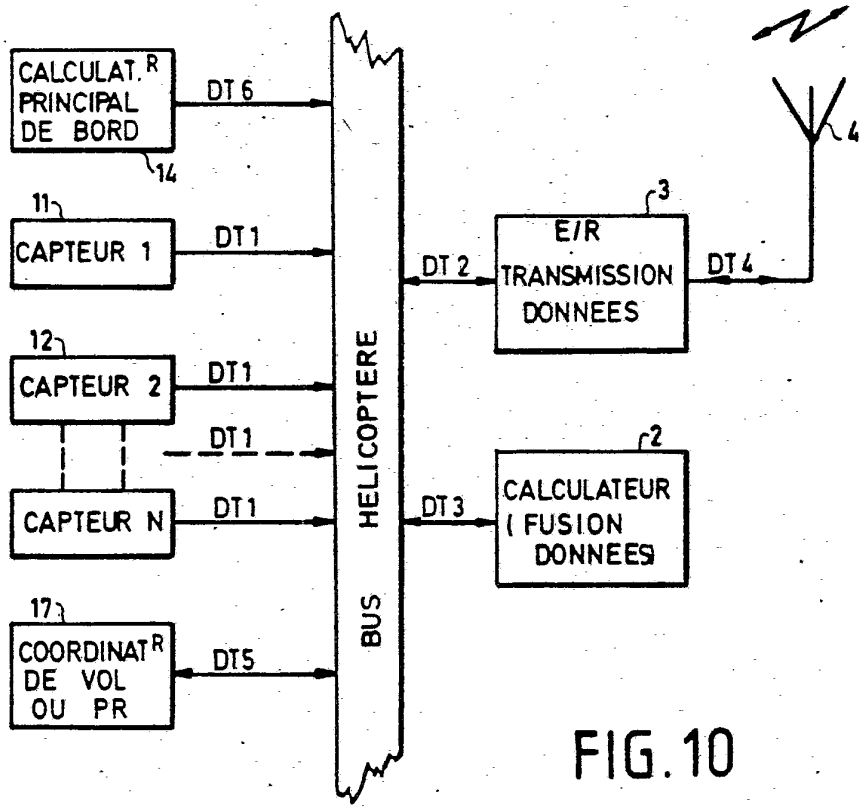
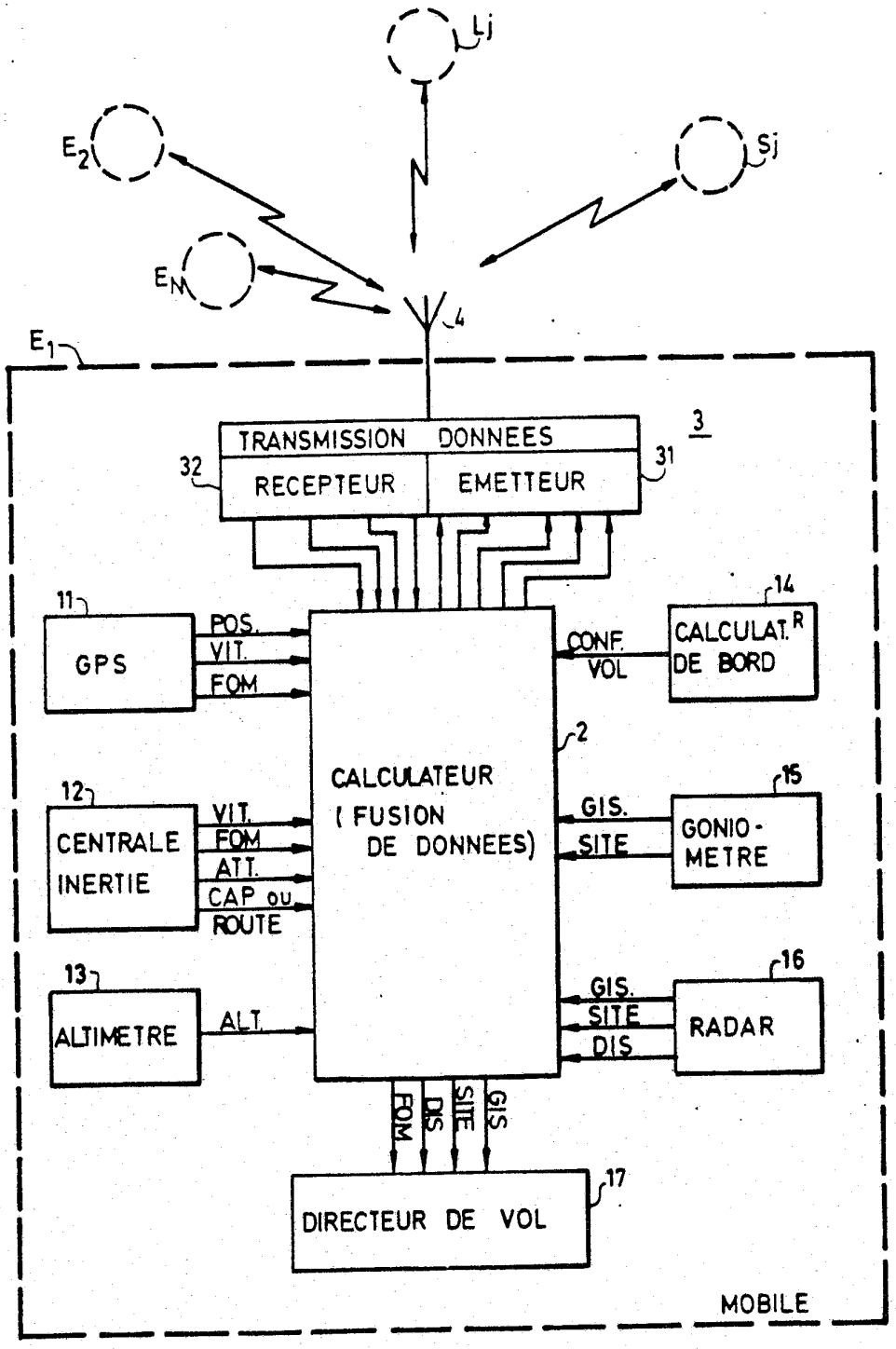

CALCULAT.R PRINCIPAL DE BORD
14
DT 6
11
CAPTEUR 1
DT 1
12
CAPTEUR 2
DT 1
DT 1
CAPTEUR N
DT 1
17
COORDINATR DE VOL OU PR
DT 5
BUS HELICOPTERE
DT 2
DT 3
E/R TRANSMISSION DONNEES
3
DT 4
4
CALCULATEUR (FUSION DONNEES)
2

FIG.10

FIG. 4


Lj
E2
Sj
EN
4
E1
TRANSMISSION DONNEES
3
32
RECEPTEUR
EMETTEUR
31
11
GPS
POS.
VIT.
FOM
14
CALCULAT.R DE BORD
CONF. VOL
2
CALCULATEUR
(FUSION
DE DONNEES)
12
CENTRALE INERTIE
VIT.
FOM
ATT.
CAP ou ROUTE
15
GONIO-METRE
GIS.
SITE
13
ALTIMETRE
ALT.
16
RADAR
GIS.
SITE
DIS
FOM
DIS
SITE
GIS
17
DIRECTEUR DE VOL
MOBILE

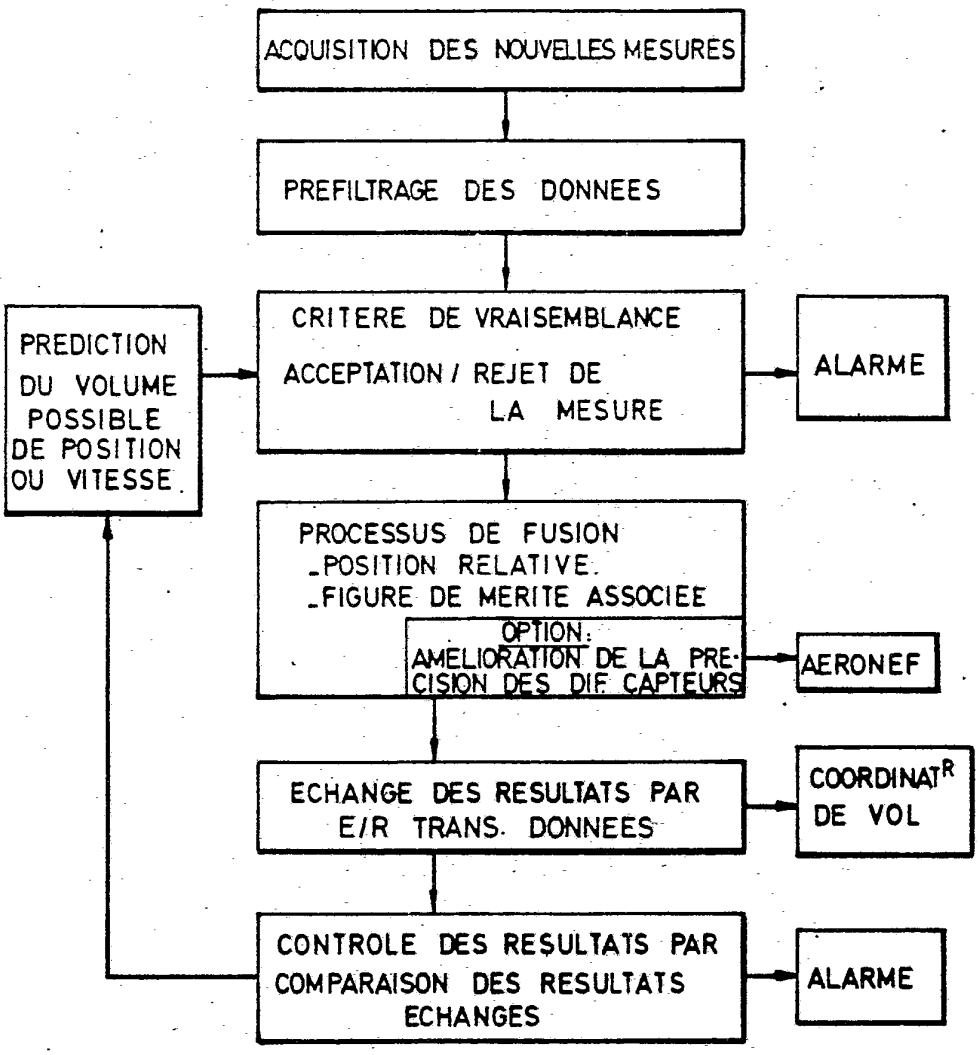

ACQUISITION DES NOUVELLES MESURES
PREFILTRAGE DES DONNEES
PREDICTION DU VOLUME POSSIBLE DE POSITION OU VITESSE
CRITERE DE VRAISEMBLANCE
ACCEPTATION / REJET DE LA MESURE
ALARME
PROCESSUS DE FUSION
-POSITION RELATIVE
-FIGURE DE MERITE ASSOCIEE
OPTION:
AMELIORATION DE LA PRECISION DES DIF CAPTEURS
AERONEF
ECHANGE DES RESULTATS PAR E/R TRANS. DONNEES
COORDINATR DE VOL
CONTROLE DES RESULTATS PAR COMPARAISON DES RESULTATS ECHANGES
ALARME

FIG. 5

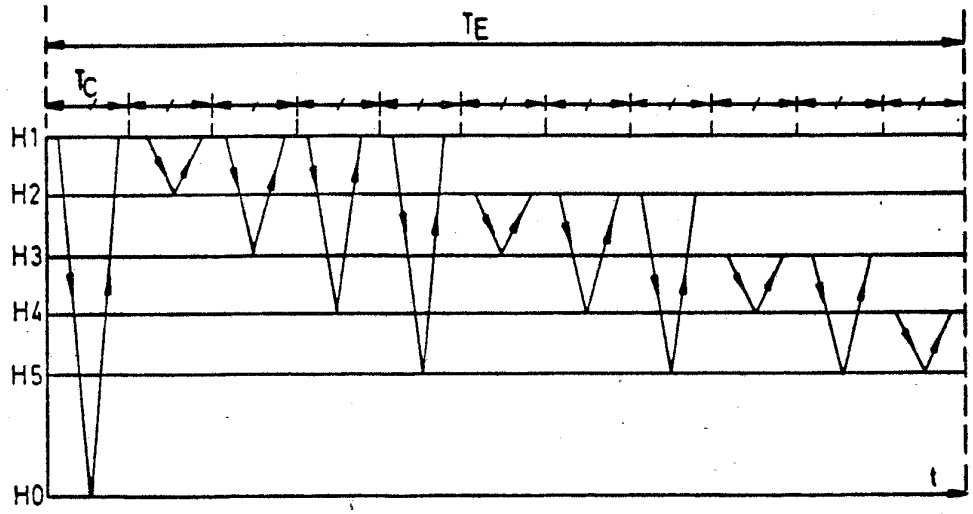


FIG.7

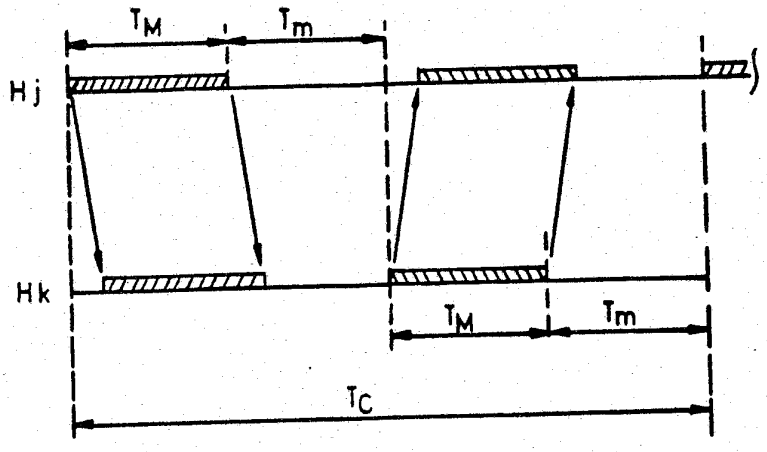


FIG.8

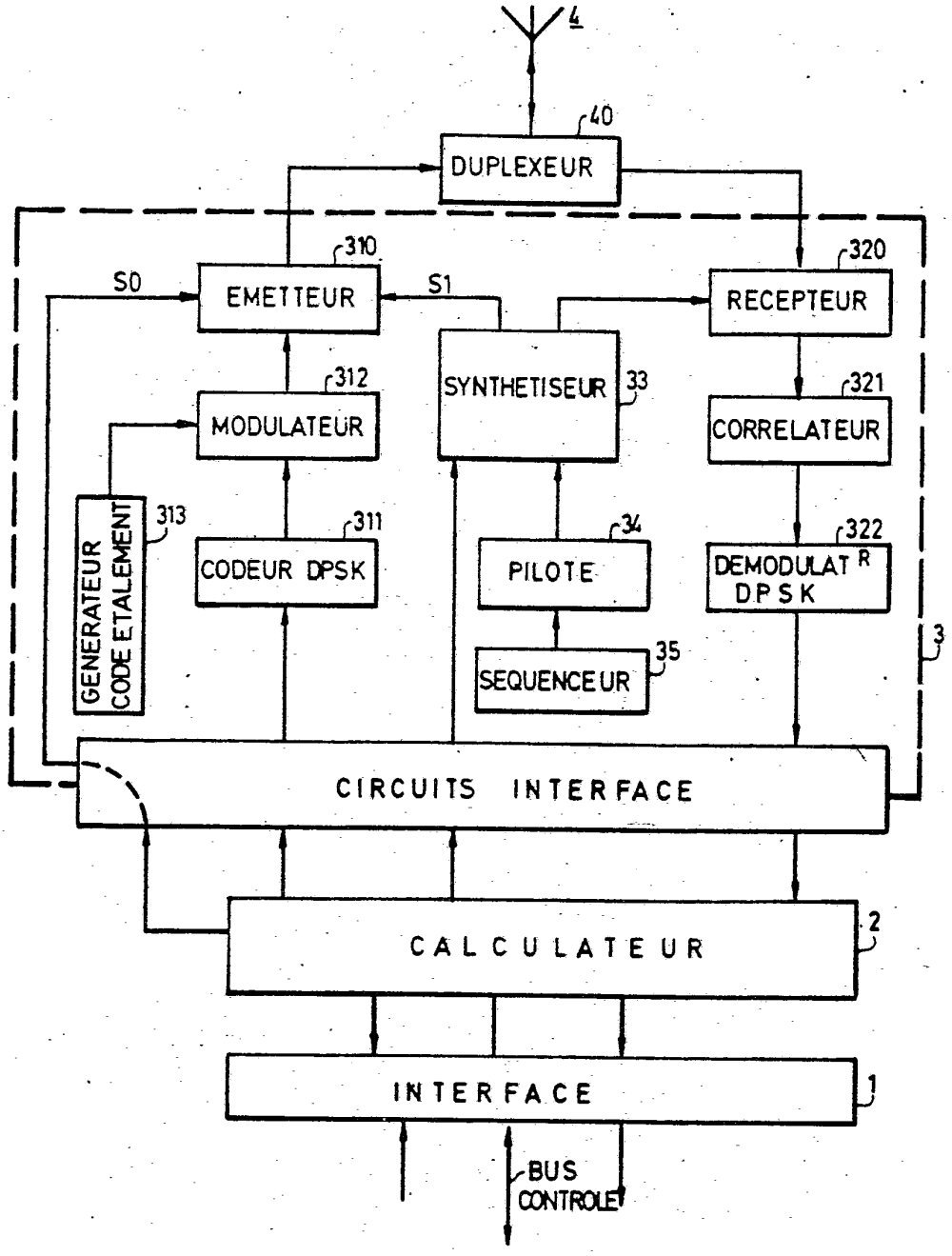

4
40
DUPLEXEUR
310
320
S0
EMETTEUR
S1
RECEPTEUR
312
SYNTHETISEUR
33
321
MODULATEUR
CORRELATEUR
313
311
34
322
GENERATEUR CODE ETALEMENT
CODEUR DPSK
PILOTE
DEMODULATEUR DPSK
3
35
SEQUENCEUR
CIRCUITS INTERFACE
2
CALCULATEUR
1
INTERFACE
BUS CONTROLE

FIG.9

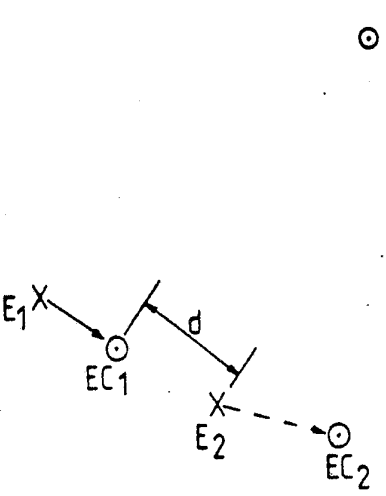

Lj
E1
EC1
d
E2
EC2

FIG. 11

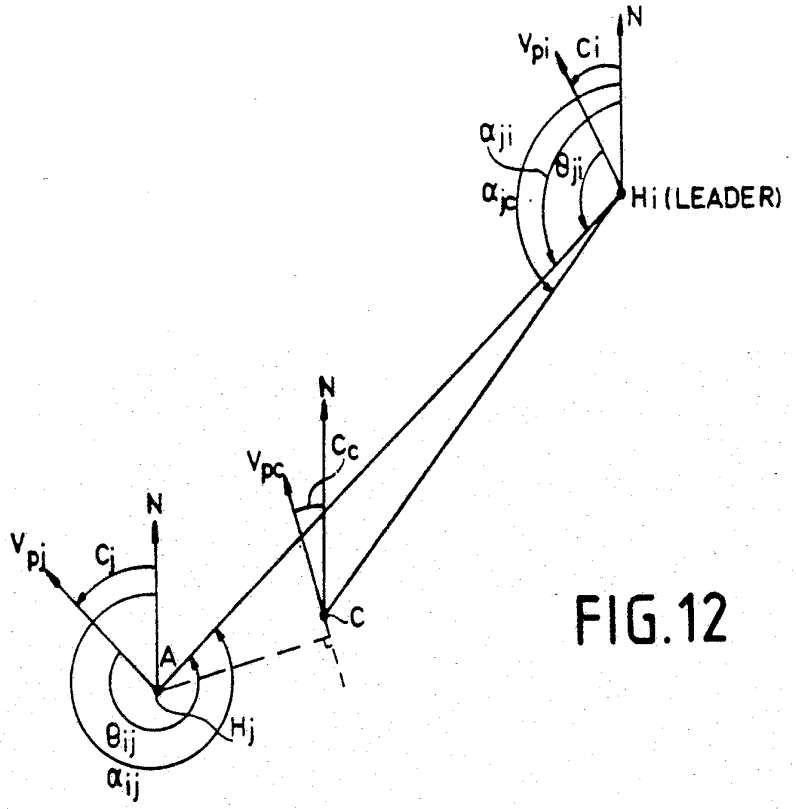

N
Vpi
Ci
αji
θji
αjc
Hi (LEADER)
N
Vpc
Cc
C
N
Vpi
Ci
A
θij
αij
Hj

FIG. 12