



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

(13) **A1**

(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2022/04/14
 (87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2022/10/27
 (85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2023/10/12
 (86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** EP 2022/060037
 (87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2022/223433
 (30) **Priorité/Priority:** 2021/04/20 (FR FR2104089)

(51) **Cl.Int./Int.Cl. G08G 5/00** (2006.01)
 (71) **Demandeur/Applicant:**
 THALES, FR
 (72) **Inventeurs/Inventors:**
 LALUQUE, LAURENT, FR;
 DESEURE, CHRIS, FR;
 EDELINE, JACQUES, FR;
 FLOTTE, LAURENT, FR;
 LAVILLE, DAVID, FR
 (74) **Agent:** MARKS & CLERK

(54) **Titre : METHODE DE COMMUNICATION ENTRE UN SYSTEME DE COMMANDE DE LA CIRCULATION AERIEENNE ET
MODULE DE COMMUNICATION**
 (54) **Title: METHOD FOR COMMUNICATION BETWEEN AN AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM AND A COMMUNICATION MODULE**

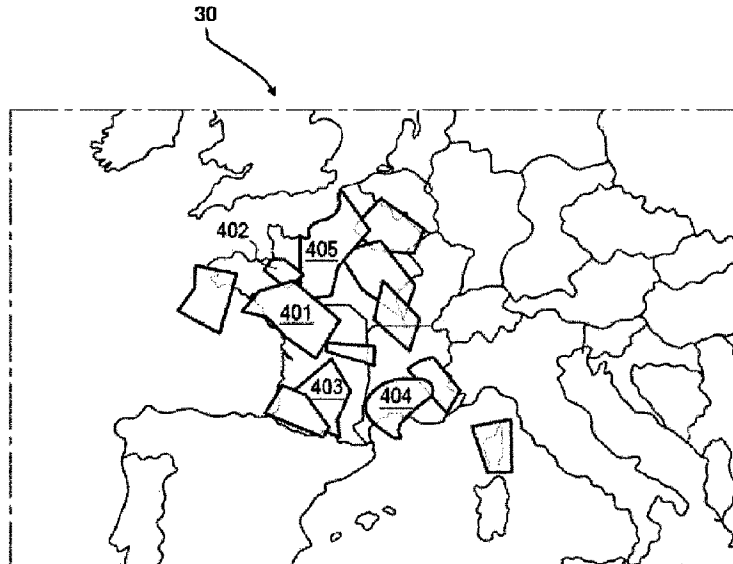


Fig.3

(57) **Abrégé/Abstract:**

The invention relates to a method for communication between an air traffic control system and a communication module, said communication method comprising: - a step of determining environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) based on the air traffic absorption capacities of the various flight information regions (301, 302, 303, 304, 305), said environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) at least partially covering one or more flight information regions, each environmental optimization time slot (401, 402, 403, 404, 405) having an associated efficiency level; - a step of negotiation, between the pilot via the communication module and the air traffic control system, to negotiate changes to the flight plan on the basis of the environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) and the environmental optimization levels of said environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405).

Date Submitted: 2023/10/12

CA App. No.: 3215258

Abstract:

The invention relates to a method for communication between an air traffic control system and a communication module, said communication method comprising: - a step of determining environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) based on the air traffic absorption capacities of the various flight information regions (301, 302, 303, 304, 305), said environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) at least partially covering one or more flight information regions, each environmental optimization time slot (401, 402, 403, 404, 405) having an associated efficiency level; - a step of negotiation, between the pilot via the communication module and the air traffic control system, to negotiate changes to the flight plan on the basis of the environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405) and the environmental optimization levels of said environmental optimization time slots (401, 402, 403, 404, 405).

DESCRIPTION

Titre de l'invention : Procédé de communication entre un système de contrôle aérien et un module de communication

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé de communication entre un système de contrôle aérien et module de communication, un système de contrôle aérien et un terminal électronique associés.

Technique antérieure

[0002] Le trafic aérien augmentant sans cesse depuis ses débuts, la charge de travail et le nombre de tâches à effectuer par des contrôleurs aériens, via un système de contrôle aérien, sont complexes et s'accroissent en conséquence.

[0003] Il est nécessaire d'améliorer les procédures de vol et les plans de vols des aéronefs, de manière à gérer au mieux l'espace aérien disponible, ainsi que les équipements disponibles, tels que les pistes d'atterrissage.

[0004] Un plan de vol est la description détaillée de la route à suivre par un aéronef dans le cadre d'un vol planifié. Il comporte notamment une séquence chronologique de points de passage décrits par leur position, leur altitude et leur heure de survol. Lors de la construction du plan de vol un certain nombre de règles en vigueur doivent être respectées de manière à assurer une distance entre aéronefs dans l'espace aérien. Des vérifications sont également réalisées de façon à s'assurer que les différents plans de vol déposés sont compatibles les uns des autres. Les points de passage constituent la trajectoire de référence à suivre par l'aéronef en vue de respecter au mieux son plan de vol. Cette trajectoire est une aide précieuse à la fois au personnel de contrôle au sol et à la fois au pilote, pour anticiper les mouvements de l'aéronef, par exemple, un avion et ainsi assurer un niveau de sécurité optimum, notamment dans le cadre du maintien des critères de séparation entre aéronefs. Le plan de vol est couramment géré à bord des avions civils par un système de gestion de vol désigné par la terminologie anglo-saxonne de « Flight Management System » (FMS), qui met la trajectoire de référence à disposition du personnel de bord et à disposition des autres systèmes embarqués. Dans un souci essentiellement de

sécurité, il faut donc s'assurer que l'aéronef suit au moins en terme géographique et temporel la trajectoire de référence décrite dans le plan de vol.

[0005] A côté de cette problématique de sécurité, il y a une prise de conscience de l'impact du trafic aérien sur l'environnement. Différentes études mettent en avant cet impact environnemental.

[0006] Ainsi, le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique a publié des travaux sur ce sujet, tel que la publication « Mitigation the Climate from Aviation : Achievements and Results of the DLR WeCare Project ». Cette publication décrit des zones de climat restreintes dans lesquelles le passage d'un aéronef aurait des conséquences néfastes pour l'environnement.

[0007] L'Université de Catalogne décrit la notion de vol parfait au sens écologique dans Dalmau & Prats (2015) : « Fuel and Time Savings by Flying Continuous Cruise Climbs : Estimating the Benefit Pools for Maximum Range Operations ».

[0008] De tels travaux sont à mettre en parallèle d'études dans le développement de la voiture autonome, telles que la définition de « l'Operating Design Domain » automobile » publiée dans SAEJ3016 (« Operating conditions under which a given driving automation system or feature thereof is specifically designed to function, including, but not limited to, environmental, geographical, and time-of-day restrictions, and/or the requisite presence or absence of certain traffic or roadway characteristics »).

[0009] Ce problème d'optimisation environnemental est, aujourd'hui, résolu au travers de l'efficacité de vol, qui consiste à prendre des trajectoires les plus courtes possibles. Ainsi, la dimension écologique des vols est uniquement prise en compte par le prisme des niveaux d'émission de CO2 résultant de la consommation en fuel des appareils. Les différents acteurs (compagnies aériennes, pilotes, contrôleurs aériens) cherchent avant tout à minimiser cette consommation pour des raisons économiques. Côté système de contrôle aérien, l'objectif est avant tout d'assurer la sécurité des vols en adéquation avec la demande en termes de volume de trafic. Le contrôleur aérien a donc pour priorité d'assurer en premier lieu la sécurité du vol. De par sa charge de travail il peut ne pas être disponible pour traiter la dimension écologique du vol. En outre, chaque acteur, qu'il soit pilote ou contrôleur aérien, a uniquement une vision parcellaire de la situation. En effet, le pilote n'a pas

connaissance des contraintes du système de contrôle aérien (charge de travail du contrôle aérien, problème technique, etc...) et il n'a au mieux qu'une vision partielle du trafic environnant. Le contrôleur aérien, quant à lui, ne connaît pas les contraintes du pilote et de sa compagnie aérienne (marge de manœuvre sur le délai à l'arrivée, intention de vols permettant d'optimiser la trajectoire, etc...). Il ne connaît pas non plus les caractéristiques, notamment en termes de performances, des différents aéronefs.

[0010] Il existe donc un besoin de proposer un procédé de communication qui améliore la prise en compte des contraintes et intentions d'optimisation par les pilotes d'une part et par les contrôleurs aériens d'autre part.

[0011] Exposé de l'invention

[0012] La présente invention vise à remédier au moins en partie à ce besoin.

[0013] Plus particulièrement, la présente invention vise à permettre à un système de contrôle aérien de définir et de publier régulièrement un espace-temps durant lequel des optimisations de trajectoires selon un critère environnemental sont favorisées et à supporter de manière outillée les échanges d'informations nécessaires auxdites optimisations.

[0014] Un premier objet de l'invention concerne un procédé de communication entre un système de contrôle aérien et un module de communication. Le module de communication est adapté pour être utilisé par un pilote d'un aéronef pour négocier des modifications dans un plan de vol dudit aéronef et le système de contrôle aérien est adapté pour être utilisé par un contrôleur aérien pour contrôler un trafic aérien dans un espace aérien. L'espace aérien est divisé en une pluralité de régions d'information de vol, chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption dudit trafic aérien. Le procédé de communication comprend une étape de détermination de créneaux temporels d'optimisation environnementale à partir des capacités d'absorption du trafic aérien des différentes régions d'information de vol. Les créneaux temporels d'optimisation environnementale recouvrent au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol de l'espace aérien, chaque créneau temporel d'optimisation environnementale ayant un niveau d'optimisation environnementale associé. Le procédé comprend également une étape de négociation, entre le pilote via le module de communication et le système

de contrôle aérien, pour négocier des modifications dans le plan de vol en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale et de leur niveau d'optimisation environnementale associé.

[0015] Ainsi, le procédé de communication favorise une négociation d'un nouveau plan de vol entre le pilote et le contrôleur aérien. En effet, par la détermination de créneaux temporels d'optimisation environnementale et par la détermination de niveaux d'optimisation environnementale associés auxdits créneaux temporels d'optimisation environnementale, le système de contrôle aérien indique qu'un ou plusieurs contrôleurs aériens sont plus ou moins disponibles pour favoriser une optimisation écologique du plan de vol dans une région d'information de vol donnée. Le commandant de bord et/ou le copilote sont alors incités à partager leurs réflexions sur les moyens d'améliorer leur vol, notamment en termes d'empreinte écologique avec une meilleure chance de prise en compte par les contrôleurs aériens. Les contrôleurs aériens sont aussi naturellement incités à devenir encore plus actifs afin de traiter cette dimension écologique et proposer au commandant de bord et/ou au copilote des modifications du plan de vol. En outre, le pilote, via le terminal électronique, et les différents contrôleurs aériens impliqués dans une optimisation, via le système de contrôle aérien, partagent avec une plus grande efficacité les différents paramètres dont ils ont connaissance. Cela favorise l'émergence d'un consensus entre les différentes parties pour la détermination du nouveau plan de vol optimisé et personnalisé selon les intentions et possibilités de chaque acteur.

[0016] Dans un mode de réalisation particulier, le module de communication est un terminal électronique adapté pour recevoir lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale ou un terminal radio à liaison vocale numérique ou non numérique.

[0017] Le terminal électronique correspond à un terminal intelligent capable d'améliorer la négociation entre le pilote et le système de contrôle et d'implémenter automatiquement les modifications du plan de vol dans l'aéronef. Le terminal radio est plus classique, il permet un échange d'informations (par exemple par radio, phonie ou datalink) entre le pilote et le système de contrôle mais c'est le pilote qui implémente manuellement les modifications du plan de vol négociées.

[0018] Dans un mode de réalisation particulier, les créneaux temporels d'optimisation environnementale et les niveaux d'efficacité associés sont déterminés à partir d'au

moins un paramètre sélectionné parmi une liste de paramètres comprenant au moins :

- un objectif environnemental ;
- une marge de manœuvres ;
- une disponibilité du contrôleur aérien.

[0019] Dans un mode de réalisation particulier, la capacité d'absorption du trafic aérien des régions d'information de vol est déterminée en fonction d'un volume de trafic aérien et/ou d'une complexité dudit trafic aérien et/ou de conditions météorologiques.

[0020] Dans un mode de réalisation particulier, l'objectif environnemental est sélectionné parmi une liste d'objectifs environnementaux comprenant au moins :

- une limitation d'émissions en CO₂ ;
- une limitation d'émissions en NO_x ;
- une limitation d'émission en CH₄ ;
- une limitation d'émission en vapeur d'eau ;
- une limitation d'effets induits par des traînées de condensation.

[0021] Dans un mode de réalisation particulier, les modifications dans le plan de vol sont choisies parmi une liste de modifications comprenant au moins :

- une modification de trajectoire de l'aéronef ;
- une modification d'altitude de l'aéronef ;
- une modification de vitesse de l'aéronef.

[0022] Dans mode de réalisation particulier, le procédé de communication comprend une étape d'envoi par le système de contrôle aérien d'un message de type clearance ATC vers le module de communication, ledit message de type clearance ATC étant adapté pour valider des modifications dans le plan de vol, lesdites modifications ayant été négociées dans l'étape de négociation.

[0023] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de négociation entre le module de communication et le système de contrôle aérien est réalisée avant le début du vol de l'aéronef et/ou en plein vol.

[0024] Un autre objet de l'invention concerne un système de contrôle aérien adapté pour être utilisé par un contrôleur aérien pour contrôler un trafic aérien dans un espace aérien, ledit espace aérien étant divisé en une pluralité de régions

d'information de vol, chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption dudit trafic aérien, ledit système de contrôle aérien comprenant :

- un module de contrôle, ledit module de contrôle étant adapté pour déterminer la capacité d'absorption du trafic aérien pour chaque région d'information de vol ;
- un module d'environnement, ledit module d'environnement étant adapté pour déterminer des créneaux temporels d'optimisation environnementale à partir des capacités d'absorption du trafic aérien des différentes régions d'information de vol, lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol de l'espace aérien, chaque créneau temporel d'optimisation environnementale ayant un niveau d'efficacité associé, ledit module d'environnement étant adapté pour négocier des modifications dans un plan de vol d'un aéronef destiné à traverser l'espace aérien, lesdites modifications étant déterminées en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale et des niveaux d'efficacité desdits créneaux temporels d'optimisation environnementale.

[0025] Un autre objet de l'invention concerne un terminal électronique adapté pour être utilisé par un pilote d'un aéronef pour négocier des modifications dans un plan de vol dudit aéronef, ledit aéronef étant destiné à traverser un espace aérien, ledit espace aérien étant divisé en une pluralité de régions d'information de vol, chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption d'un trafic aérien, ledit terminal électronique comportant :

- un bloc de visualisation de créneaux temporels d'optimisation environnementale et de niveaux d'efficacité associés auxdits créneaux, lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol de l'espace aérien, lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale et les niveaux d'efficacité associés auxdits créneaux temporels d'optimisation environnementale étant déterminés à partir des capacités d'absorption du trafic aérien des différentes régions d'information de vol ;
- un bloc de négociation, ledit bloc de négociation étant adapté pour négocier des modifications dans le plan de vol dudit aéronef en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale et des niveaux d'efficacité desdits créneaux temporels d'optimisation environnementale.

[0026] La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée de modes de réalisation pris à titre d'exemples nullement limitatifs et illustrés par les dessins annexés sur lesquels :

[0027] [Fig 1] la figure 1 illustre les différents acteurs d'un procédé de communication selon l'invention ;

[0028] [Fig 2] la figure 2 illustre un espace aérien divisé en une pluralité de régions d'information de vol selon l'art antérieur ;

[0029] [Fig 3] la figure 3 illustre des créneaux temporels d'optimisation environnementale déterminés selon le procédé de communication de l'invention, lesdits créneaux recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol de l'espace aérien de la figure 2 ;

[0030] [Fig 4] la figure 4 illustre schématiquement une architecture globale pour la mise en œuvre du procédé de communication selon l'invention, ladite architecture globale comprenant un module d'environnement ATC Green flag et un terminal électronique ;

[0031] [Fig 5] la figure 5 détaille schématiquement le module d'environnement ATC Green flag de la figure 4 ;

[0032] [Fig 6] la figure 6 détaille schématiquement le terminal électronique de la figure 4 ;

[0033] [Fig 7] la figure 7 illustre les différentes étapes du procédé de communication de l'invention.

[0034] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation et variantes présentées et d'autres modes de réalisation et variantes apparaîtront clairement à l'homme du métier.

[0035] La figure 1 illustre globalement une architecture de communication entre un terminal de communication (Pilot Green flag) et un système de contrôle aérien 20. Le terminal de communication (Pilot Green flag) est adapté pour être utilisé par un pilote 11 d'un aéronef 12 en vue de négocier des modifications dans un plan de vol de cet aéronef 12. Dans un mode de réalisation préférentiel, ce terminal de communication 101 se présente sous la forme d'une tablette facilement transportable par le pilote 11. Le système de contrôle aérien 20 est quant à lui adapté pour être

utilisé par un contrôleur aérien 21 en vue de contrôler un trafic aérien dans un espace aérien donné.

[0036] Un tel espace aérien 30 est notamment illustré à la figure 2. Sur cette figure 2, l'espace aérien est centré sur la France et il comporte cinq régions d'information de vol ou secteurs 301- 305 pouvant englober plusieurs régions géographiques ou plusieurs parties de région géographique. La première région d'information de vol 301 couvre ainsi les Hauts-de-France, l'île de France, une partie de la Normandie, une partie du Grand-Est, une partie du Centre-Val de Loire et une partie de la Bourgogne Franche-Comté. La seconde région d'information de vol 302 couvre la Bretagne, l'autre partie de la Normandie, une partie des Pays de Loire et une partie des eaux territoriales françaises de l'océan atlantique. La troisième région d'information de vol 303 couvre la Nouvelle-Aquitaine, une partie de l'Occitanie, l'autre partie du Centre-Val de Loire. La quatrième région d'information de vol 304 couvre l'Auvergne-Rhône-Alpes, l'autre partie de l'Occitanie, la Provence-Alpes-Côte d'Azur, la Corse et une partie des eaux territoriales françaises de la Méditerranée. La cinquième région d'information de vol 305 couvre l'autre partie du Grand-Est et l'autre partie de la Bourgogne-Franche-Comté. Chaque région d'information de vol 301-305 a une certaine capacité d'absorption du trafic aérien.

[0037] La figure 3 illustre des créneaux temporels d'optimisation environnementale, donc cinq sont ici spécifiquement référencés 401-405. Ces créneaux temporels 401-405 recouvrent au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol 301-305 illustré à la figure 2. Les créneaux temporels forment ainsi avec des parties des régions d'information de vol 301-305 des espaces-temps à 4 dimensions dans lesquels une négociation entre le pilote et le contrôleur aérien est possible pour optimiser le plan de vol d'un point de vue environnemental. Dans ces espaces-temps, les aéronefs peuvent voler selon une trajectoire la plus écologique possible indépendamment des autres contraintes de l'invention. Dans ces conditions, les procédures de vol écologique sont rendues techniquement possibles : montée et descente continues. Les optimisations locales (changement de niveau de vol pour accéder à des vents favorables, par exemple) sont toutes acceptées par les contrôleurs qui restent les garants du maintien des séparations et donc de la sécurité des aéronefs.

[0038] Ces espaces-temps sont déclarés par le système de contrôle aérien 20 en fonction de différents critères qui peuvent être combinés et pondérés tels que :

- la charge de travail du contrôle aérien ;
- la disponibilité des contrôleurs en termes de ressources ;
- les objectifs environnementaux cibles ;
- les leviers disponibles pour permettre d'atteindre les objectifs environnementaux.

[0039] La charge de travail du contrôle aérien est déterminée en prenant en compte ;

- le volume de trafic prévu sur la région d'information de vol sur les différentes fenêtres de temps considérées ;
- la complexité du trafic. Celle-ci découle directement des risques de conflits potentiels entre les aéronefs présents sur une même région d'information de vol dans la même fenêtre de temps (n appareils bien séparés, sur des flux parallèles représentent une complexité moindre par rapport à n appareils entrant dans le secteur par des points opposés et volant selon des trajectoires convergentes, l'effort pour les gérer est donc bien différent) ;
- la complexité de la situation météo (présence de convections dangereuses, vents violents, « windshear », etc...).

[0040] Les objectifs environnementaux cibles sont, par exemple :

- un gain en émission de CO₂ ;
- une réduction des niveaux d'émission globaux (au-delà du CO₂ donc) type GWP100 prenant en compte :
 - les émissions de CO₂ ;
 - les émissions de NO_x ;
 - les émissions en CH₄ ;
 - les effets induits par les trainées de condensation (« contrails »).

[0041] Les leviers disponibles pour permettre d'atteindre les objectifs environnementaux sont :

- une météo favorable au sein de la région d'information de vol : vent, température, pression (« jet stream », « contrails ») ;
- un climat favorable au sein de la région d'information de vol : rayonnement solaire, méthane, ozone ;
- des procédures disponibles via les LOA (pour « Letter Of Agreement » en anglais) pour les transferts depuis et vers les zones adjacentes (montée continue, descente

continue, direct, etc...) ainsi que les possibilités/facilités de négociation des conditions de transfert avec les régions d'information de vol.

[0042] Chaque espace-temps est déterminé en avance de phase sur la base des valeurs prévisionnelles de chacun des critères. Il peut par la suite être réajusté tout au long de la journée en fonction de l'évolution des critères pris en compte.

[0043] Outre la détermination des caractéristiques de l'espace-temps, ces mêmes critères peuvent être utilisés pour déterminer différents niveaux d'efficacité N1, N2, N3. Par exemple, en considérant comme critère uniquement la charge de travail contrôleur, il est possible de déterminer :

- un premier niveau « maximal » N1 dans lequel le contrôleur a la capacité d'accepter/de proposer tous les types de requêtes pilotes (sous réserve d'être capable d'assurer la sécurité des vols) et de négocier des transferts hors procédures depuis et vers les secteurs adjacents ;
- un second niveau « medium » N2 dans lequel le contrôleur peut étudier/proposer tous types d'optimisations mais limitées à sa région d'information de vol. Dans ce cas, il ne peut pas garantir une capacité de négociation avec les régions d'information de vol adjacentes ;
- un troisième niveau « light » N3 dans lequel le contrôleur peut uniquement étudier/proposer certains types d'optimisation (par exemple, une descente continue et directe).

[0044] De manière pratique, les critères permettant de déterminer un espace-temps peuvent être appliqués :

- globalement sur une FIR (pour « Flight Information Region » en anglais) ;
- sur chacun des différents sous-régions d'une FIR. Dans ce cas, la logique retenue consiste à regrouper sur un même niveau d'efficacité les différents sous-secteurs gérés par un même contrôleur/couple de contrôleurs ;
- sur une zone couvrant un « city pair » donné (triptyque aéroport de départ, aéroport d'arrivée, itinéraire).

[0045] Dans un espace-temps, les acteurs peuvent élaborer des trajectoires selon des critères écologiques, de manière collaborative, mettant en commun des suggestions vues du sol et vues du bord. Ainsi, dans cet espace-temps les procédures écologiques deviennent les procédures par défaut.

[0046] En outre, un espace-temps permet de gérer des appareils différemment des règles en vigueur habituellement, en isolant physiquement dans le temps et l'espace lesdits appareils. Il est donc possible de surpasser les principes classiques de ségrégation et de livraison d'avions entre régions d'information de vol pour supporter un trafic maximal dans les pires conditions. La trajectoire de l'aéronef peut alors être asservie à un paramètre prioritaire indépendamment des autres. Par exemple, il est d'usage de ségréguer les flux d'arrivée et de départ en les faisant se croiser dans des volumes différents. Les règles définissant ces volumes sont strictes et prévues à l'avance. Lors d'un créneau temporel d'optimisation environnementale, l'ATC (pour « Air Traffic Controller » en anglais) peut être en capacité humaine et matérielle d'assurer la sécurité de certains vols tout en optimisant les trajectoires d'arrivée et de départ en terme d'émission via, par exemple, un suivi des appareils personnalisé permettant de s'affranchir partiellement ou complètement des règles de ségrégation habituelles.

[0047] De plus, l'espace-temps permet d'organiser le travail des contrôleurs en prenant en compte non pas uniquement le volume de trafic mais également des conditions externes à celui-ci. En effet, dans un schéma classique d'optimisation, on chercherait à travailler sur l'aéronef en lui-même ainsi que les interactions que l'appareil a avec les autres aéronefs. Ici, les paramètres sont sur l'environnement extérieur à l'avion ainsi que sur la proactivité de l'ATC afin de susciter des optimisations globales et de pousser les pilotes et compagnies à rechercher des optimisations locales. Ainsi, pour être capable d'assurer un créneau temporel d'optimisation environnementale, l'ATC peut s'organiser différemment en regroupant ou dégroupant par exemple une région d'information de vol en sous-régions et en mettant plus de ressources humaines dans les sous-régions couvertes par ledit créneau temporel. Il est ainsi possible de gérer plus finement les niveaux d'émission. Ceci a pour avantage de prendre en compte de manière optimale les changements de l'environnement. Ainsi, par exemple, une modification de l'atmosphère en humidité, en température et ou en pression peut amener en une heure à modifier la classification d'un espace car il est susceptible de générer des trainées de condensation. Dans ce cas, le contrôle pourrait interdire la traverser de la zone à certains flux de trafic car le compromis consommation de carburant (émission de CO₂) et trainées de condensation n'est pas favorable alors que pour d'autres flux, il

vaut mieux traverser le sous-secteur. De la même manière, en signalant cet espace-temps, l'ATC signifie, par exemple, qu'il est en capacité de prendre le temps de négocier une grande directe entre la FIR avec le contrôleur suivant, adaptant ainsi pour un flot d'appareils donnés les règles de livraison d'aéronef en vigueur.

[0048] La diffusion d'un nouvel espace-temps peut se faire vers les compagnies aériennes et les pilotes par des messages publiés par les agences gouvernementales appelés Notam Green Ops. Ces messages permettent de diffuser les caractéristiques de l'espace-temps ainsi qu'éventuellement des marges de manœuvres de l'ATC. L'évolution de l'espace-temps peut également être transmise par le biais de ces mêmes Notam Green Ops. Ils peuvent également être échangés avec les pilotes via les canaux digitaux utilisés pour négocier avec l'ATC.

[0049] Dans ces conditions, la mission principale du pilote et du contrôleur devient de minimiser l'empreinte écologique de l'aéronef. Ils peuvent donc profiter de toute nouvelle opportunité pour :

- éviter les zones de traînée de condensation, les zones propices à la formation d'ozone (opportunité climatique) ;
- profiter des météos favorables (opportunité météo) ;
- appliquer le régime moteur de moindre consommation (opportunité régime moteur) ;
- prendre les routes les plus courtes (opportunité trajet).

[0050] Ces propositions en temps réel pourront être à l'initiative des acteurs humains ou bien logiciels. Ces derniers seront adaptés pour respecter des règles métiers ou de bonnes pratiques reconnues dans un apprentissage en masse de données.

[0051] Sur la figure 3, les créneaux temporels 401 à 405 présentent des formes quelconques. Ainsi, un premier créneau temporel 401 de forme globalement rectangulaire recouvre partiellement la première région d'information de vol 301, la seconde région d'information de vol 302 et la troisième région d'information de vol 303. Un second créneau temporel 402 de forme globalement rectangulaire recouvre partiellement la seconde région d'information de vol 302. Un troisième créneau temporel 403 de forme globalement rectangulaire recouvre partiellement la troisième région d'information de vol 303. Un quatrième créneau temporel 404 de forme globalement arrondie allongée recouvre partiellement la quatrième région

d'information de vol 304. Les différents créneaux temporels peuvent se chevaucher. C'est ainsi que le premier créneau temporel 401 a une partie commune avec le second créneau temporel 402. De la même manière, le premier créneau temporel 401 a une partie commune avec le cinquième créneau temporel 405.

[0052] Chaque créneau temporel d'optimisation environnemental 401-405 possède un niveau d'optimisation environnementale N1, N2, N3 avec $N1 > N2 > N3$. Pour rappel, ce niveau d'optimisation environnementale illustre une disponibilité du système de contrôle aérien à négocier dans le créneau temporel d'optimisation associé pour optimiser le plan de vol. Plus ce niveau est élevé, plus cette disponibilité est forte. Sur la figure 3, le premier créneau temporel 401 a un faible niveau de disponibilité N1. Le second créneau temporel 402 a un niveau de disponibilité intermédiaire N2. Le troisième créneau temporel 403, le quatrième créneau temporel 404 et le cinquième créneau temporel 405 ont des niveaux de disponibilité élevés N3.

[0053] On notera, de nouveau, que les créneaux temporels peuvent recouvrir, au moins en partie, plusieurs régions d'information de vol 301-305. Il est ainsi possible de maintenir un plan de vol optimisé d'un point de vue environnemental, même lors d'un changement de région d'information de vol.

[0054] La figure 4 illustre une architecture générale pour la mise en œuvre d'un procédé de communication, selon l'invention, entre le système de contrôle aérien 20 et le terminal électronique Pilot Green flag. Cette architecture générale comprend ainsi un domaine de contrôle aérien 20 et un domaine de pilote 10, chacun de ces domaines étant délimité par des pointillés. Le domaine de contrôle aérien est représenté par le système de contrôle aérien 20. Le domaine de pilote 10 comprend le terminal électronique Pilot Green flag et un module d'électronique de bord Pilot courant.

[0055] Plus particulièrement, le système de contrôle aérien 20 comprend :

- un module de contrôle ATC centre de contrôle courant ;
- un module d'environnement ATC Green flag.

[0056] Le module de contrôle ATC centre de contrôle courant est adapté pour déterminer et transmettre :

- une capacité d'absorption K du trafic aérien pour chaque région d'information de vol

301, 302, 303, 304, 305 ;

- un message d'autorisation clearance ATC, ledit message d'autorisation étant adapté pour valider des modifications dans le plan de vol de l'aéronef 12. Ce message d'autorisation clearance ATC est transmis par une voie de communication sol/bord classique (voix, datalink type CPDLC (pour « Controller-pilot data link communications » en anglais)).

[0057] Le module de contrôle ATC centre de contrôle courant est également adapté pour recevoir :

- une requête de modification Req_{modif} , ladite requête de modification Req_{modif} contenant une ou plusieurs modifications de plan de vol retenue sol/bord ;
- une requête ATC Req_{ATC} provenant du domaine de pilote 10, ladite requête ATC comprenant des informations sur des modifications de plan de vol immédiatement possibles. Cette requête ATC Req_{ATC} est transmise par une voie de communication sol/bord classique (voix, datalink type CPDLC).

[0058] Le module d'environnement ATC Green flag est adapté pour déterminer et transmettre :

- un message de données data comprenant les créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 et les niveaux d'efficacité N1, N2, N3 associés auxdits créneaux. Ce message data (401-405, N1-N3) est, par exemple, transmis selon une voie de communication sol/bord sécurisée ;
- la requête de modification Req_{modif} .

[0059] Le module d'environnement ATC Green flag est également adapté pour recevoir :

- la capacité d'absorption K du trafic aérien pour chaque région d'information de vol 301, 302, 303, 304, 305.

[0060] Enfin, le module d'environnement ATC Green flag est adapté pour recevoir et transmettre des requêtes de négociation anticipée sol/bord Req_{nego} avec le domaine de pilote 10. Cette requête Req_{nego} est, par exemple, transmise selon une voie de communication sol/bord sécurisée.

[0061] Le domaine 10 de pilote comprend l'ensemble des modules accessibles au pilote 11 de l'aéronef 12. Comme il a déjà été précisé, ce domaine 10 de pilote

comprend le terminal électronique Pilot Green flag et un module électronique Pilot courant.

[0062] Le terminal électronique Pilot Green flag se présente sous la forme d'une tablette que le pilote 11 est apte à transporter avec lui. Il peut ainsi l'utiliser pour une planification d'un plan de vol avant le vol ou pour une modification de ce plan de vol dans l'aéronef au cours du vol. Ce terminal électronique Pilot Green flag est adapté pour recevoir :

- le message data (401-405, N1-N3) provenant du module d'environnement ATC Green flag ;
- un message MAJ_{FMS} de mise à jour du plan de vol embarqué provenant du module électronique Pilot courant.

[0063] Le terminal électronique Pilot Green flag est également adapté pour recevoir et transmettre les requêtes de négociation anticipée sol/bord Req_{nego} avec le module d'environnement ATC Green flag.

[0064] Le module électronique Pilot courant est un module qui est situé dans l'aéronef 12. Ce module électronique Pilot courant est adapté pour transmettre :

- une requête ATC Req_{ATC} vers le module de contrôle ATC centre de contrôle courant ;
- un message MAJ_{FMS} de mise à jour du plan de vol embarqué vers le terminal électronique Pilot Green flag.

[0065] Le module électronique Pilot courant est adapté pour recevoir le message d'autorisation clearance ATC. Cette réception permet la mise à jour du plan de vol embarqué dans ledit module électronique Pilot courant.

[0066] La figure 5 décrit plus en détail le module d'environnement ATC Green flag de la figure 4.

[0067] Ce module d'environnement ATC Green flag comprend :

- une pluralité de blocs de paramètre comprenant :
 - un bloc 201 de charge par région d'information de vol ;
 - un bloc 202 de ressources humaines ;
 - un bloc 203 de marge de manœuvres ;
 - un bloc 204 d'objectif environnemental.

[0068] Le bloc 201 de charge par région d'information de vol est adapté pour recevoir la capacité d'absorption K du trafic aérien pour chaque région d'information de vol 301, 302, 303, 304, 305 provenant du module de contrôle ATC centre de contrôle courant.

[0069] Le bloc 202 de ressources humaines est adapté pour déterminer les ressources humaines disponibles dans le système de contrôle aérien 20.

[0070] Le bloc 203 de marge de manœuvre est adapté pour déterminer des marges de manœuvre dans un plan de vol par rapport aux procédures possibles et à la météo.

[0071] Le bloc 204 d'objectif environnemental est adapté pour contenir un ou plusieurs objectifs environnementaux, tels que la réduction du CO₂, du NO_x ou une réduction des niveaux d'émission globaux de type GWP100 pour « Global Warming Potential », sur la base desquels des modifications du plan de vol peuvent s'effectuer.

[0072] Le bloc 201 de charge par région d'information de vol et le bloc 203 de marge de manœuvre sont alimentés par un module externe 30 de fournisseur de données météo telles que des rapports d'observation météorologique pour l'aviation (METAR), des prévisions météorologiques aéronautique (TAF pour « Terminal Aerodrome Forecast » en anglais), des messages SIGMET (pour « SIGnificant METEorological Information » en anglais), des données sur les vents, les températures, le jour/nuit, les taux d'humidité, etc.

[0073] Les différents blocs 201, 202, 203, 204 sont en communication entre eux et avec un bloc 205 de visualisation de la situation. Ce bloc 205 de visualisation est adapté pour résumer une situation en fonction des différents paramètres reçus.

[0074] De plus, le bloc 205 de visualisation de la situation est adapté pour alimenter un bloc 206 de définition. Ce bloc 206 de définition est apte à définir et à positionner les différents créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405.

[0075] A partir de ces différents créneaux temporels, un bloc 207 d'identification est adapté pour identifier des types d'optimisation possible par créneaux et pour définir des marges de manœuvre possibles par créneau. Les différents créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 et les marges de manœuvre possibles sont transmis via le message data (401-405 ; N1-N3) à partir du bloc 206 de définition et du bloc 207 d'identification.

[0076] Le module d'environnement ATC Green flag comprend également un bloc 208 d'optimisation. Ce bloc 208 d'optimisation est adapté pour optimiser le système de contrôle aérien. Il comprend pour cela :

- des moyens de mesure sur les plans de vol des créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 et les écarts associés par rapport au plan de vol de référence ;
- des moyens d'identification des vols pour lesquels une optimisation est possible ;
- des moyens d'identification des optimisations possibles ;
- des moyens d'évaluation des conséquences des optimisations sur l'environnement et sur le trafic (« check safety » non qualifié) ;
- des moyens de priorisation des optimisations et des vols ;
- des moyens de sélection des modifications souhaitées de plan de vol et d'identification des contraintes minimales.

[0077] Le bloc 208 d'optimisation est ainsi apte à fournir :

- des données pour la requête Req_{modif} de modifications de plan de vol retenue sol/bord à destination du module de contrôle ATC centre de contrôle courant ; et
- des données pour les requêtes Req_{nego} de négociation sol/bord anticipée à destination du domaine de pilote 10.

[0078] La figure 6 décrit plus en détail le terminal électronique Pilot Green flag de la figure 4.

[0079] Ce terminal électronique Pilot Green flag comprend :

- un bloc 101 de plan de vol de référence ;
- un bloc 102 de visualisation ;
- un bloc 103 d'optimisation ;
- un bloc 104 de négociation.

[0080] Le bloc 101 de plan de vol de référence est adapté pour stocker le plan de vol de référence. Ce plan de vol de référence est mis à jour à partir de premières données data 1 provenant du bloc 104 de négociation et du message MAJ_{FMS} de mise à jour du plan de vol. Le bloc 101 de plan de vol est alors apte à délivrer des secondes données data 2.

[0081] Le bloc 102 de visualisation est adapté pour permettre une visualisation par le pilote 11 des créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 et des

niveaux d'efficacité N1-N3 associés auxdits créneaux. Par exemple, le bloc 102 de visualisation permet une présentation au pilote 11 des créneaux recouvrant les régions d'information de vol 301-305 comme il est illustré à la figure 3. Le bloc 102 de visualisation est adapté pour délivrer des troisièmes données data 3.

[0082] Le bloc 103 d'optimisation est adapté pour optimiser le plan de vol à l'initiative du pilote. Ce bloc 103 d'optimisation reçoit ainsi en entrée les premières données data 1, les secondes données data 2 et les troisièmes données data 3. Le bloc 103 délivre en sortie des propositions d'optimisation de plan de vol $Prop_{optim}$. Pour générer ces différentes proposition d'optimisation de plan de vol $Prop_{optim}$, le bloc 103 comprend :

- des moyens de mesure sur les plans de vol des créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 et les écarts associés par rapport au plan de vol de référence ;
- des moyens d'identification des optimisations possibles. Ces optimisations possibles sont déterminées en fonction de contraintes opérationnelles (heure d'arrivée, fuel à bord, performances, ...) ;
- des moyens d'évaluation des conséquences des optimisations sur le vol (délai à l'arrivée, etc...) ;
- des moyens de priorisation des optimisations possibles ;
- des moyens de sélection des modifications souhaitées de plan de vol et d'identification des contraintes minimales.

[0083] Le bloc 104 de négociation est adapté pour délivrer les premières données data 1 en fonction des propositions d'optimisation de plan de vol $Prop_{optim}$ et de requêtes Req_{nego} de négociation sol/bord anticipée provenant du module d'environnement ATC Green flag. Le bloc 104 de négociation est également adapté pour transmettre des requêtes Req_{nego} de négociation sol/bord anticipée à destination de ce module d'environnement ATC Green flag.

[0084] La figure 7 illustre les différentes étapes d'un procédé de communication entre le système de contrôle aérien 20 et le terminal électronique Pilot Green flag.

[0085] Dans une première étape E1, des créneaux temporels d'optimisation environnementale 401-405 sont déterminés à partir des capacités d'absorption K du trafic aérien des différentes régions d'information de vol 301-305.

[0086] Dans une seconde étape E2, le pilote 11 consulte, au sol, son plan de vol à partir du terminal électronique Pilot Green flag. Il peut alors comparer ce plan de vol planifié à un plan de vol optimisé d'un point de vue environnemental.

[0087] Dans une troisième étape E3, le pilote décide de débiter une négociation avec le système de contrôle aérien 20 pour optimiser d'un point de vue environnemental son plan de vol. Le pilote envoie, par exemple, une demande d'optimisation de montée continue via le terminal électronique Pilot Green flag. Le contrôleur du point de départ du vol reçoit la notification de la demande de montée continue. Une conversation est alors engagée entre ce contrôleur et un autre contrôleur. Cet autre contrôleur peut être un contrôleur du point d'arrivée ou un contrôleur intermédiaire d'une région d'information de vol qui sera traversée par l'aéronef lors du plan de vol.

[0088] Dans une quatrième étape E4, le contrôleur en charge de la gestion de l'aéronef donne son accord ou refuse la demande de modification. Le contrôleur peut également transmettre sa propre proposition de modifications du plan de vol. Cette proposition peut résulter du dialogue avec les contrôleurs en charge des régions d'information de vol suivantes traversées par l'aéronef.

[0089] On notera que l'ensemble des étapes E1 à E4 peut également s'effectuer à bord de l'aéronef au cours du vol.

[0090] En outre, les propositions de modifications du plan de vol peuvent être réalisées à l'initiative d'un contrôleur. Par exemple, le contrôleur peut identifier sur son écran un trajet direct entre deux espaces-temps propices à l'optimisation environnementale.

[0091] L'invention apporte ainsi un cadre reflétant les capacités d'optimisation et la volonté de gestion éco-responsable des vols par l'ATC.

[0092] Par sa publication des créneaux temporels d'optimisation environnementale, l'ATC s'engage donc dans une démarche d'optimisation des vols selon des critères éco-responsables. Le contrôleur n'est donc plus facilitateur mais acteur à part entière du processus.

[0093] La solution proposée, en signalant les bonnes dispositions de l'ATC, permet d'engager plus simplement une réflexion commune sol/bord. Elle crée un cadre incitatif pour le pilote en lui signifiant que ses efforts de recherche d'optimisation ne

seront pas rejetés en bloc et qu'à minima, la recherche d'un compromis est possible et souhaitée par les deux parties.

[0094] De plus, par son côté évolution dans le temps lié notamment à la prise en compte de l'évolution de l'environnement extérieur (trafic, météo) ainsi qu'aux capacités changeantes de l'ATC, l'invention crée également un cadre stimulant la réflexion. Elle permet alors le passage d'un système dans lequel le mode de fonctionnement principal consiste à appliquer des règles prédéfinies à un système dans lequel on crée de nouvelles règles et où on adapte les règles prédéfinies.

[0095] En outre, la solution apportée permet d'optimiser le plan de vol (horizontal et vertical) tout en en proposant/gérant des optimisations étalées sur plusieurs régions d'information de vol.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de communication entre un système de contrôle aérien (20) et un module de communication, ledit module de communication étant adapté pour être utilisé par un pilote (11) d'un aéronef (12) pour négocier des modifications dans un plan de vol dudit aéronef (12), ledit système de contrôle aérien (20) étant adapté pour être utilisé par un contrôleur aérien (21) pour contrôler un trafic aérien dans un espace aérien (30), ledit espace aérien (30) étant divisé en une pluralité de régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305), chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption (K) dudit trafic aérien, ledit procédé de communication comprenant :

- une étape (E1) de détermination de créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) à partir des capacités d'absorption (K) du trafic aérien des différentes régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305), lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305) de l'espace aérien, chaque créneau temporel d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) ayant un niveau d'efficacité (N1, N2, 3) associé ;
- une étape (E3) de négociation, entre le pilote via le module de communication et le système de contrôle aérien (20), pour négocier des modifications dans le plan de vol en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et des niveaux d'optimisation environnementale (N1, N2, N3) desdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405).

2. Procédé de communication selon la revendication 1, dans lequel le module de communication est un terminal électronique (Pilot Green flag) adapté pour recevoir lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) ou un terminal radio à liaison vocale numérique ou non numérique.

3. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 1 ou 2, dans lequel les créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et les niveaux d'efficacité (N1, N2, N3) associés sont déterminés à partir d'au moins un paramètre sélectionné parmi une liste de paramètres comprenant au moins :

- un objectif environnemental ;

- une marge de manœuvres ;
 - une disponibilité du contrôleur aérien (21).
4. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la capacité d'absorption (K) du trafic aérien des régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305) est déterminée en fonction d'un volume de trafic aérien et/ou d'une complexité dudit trafic aérien et/ou de conditions météorologiques.
5. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 3 ou 4, dans lequel l'objectif environnemental est sélectionné parmi une liste d'objectifs environnementaux comprenant au moins :
- une limitation d'émissions en CO₂ ;
 - une limitation d'émissions en NO_x ;
 - une limitation d'émission en CH₄ ;
 - une limitation d'émission en vapeur d'eau ;
 - une limitation d'effets induits par des traînées de condensation.
6. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel les modifications dans le plan de vol sont choisies parmi une liste de modifications comprenant au moins :
- une modification de trajectoire de l'aéronef (12) ;
 - une modification d'altitude de l'aéronef (12) ;
 - une modification de vitesse de l'aéronef (12).
7. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel ledit procédé de communication comprend une étape d'envoi par le système de contrôle aérien (20) d'un message d'autorisation de type clearance ATC vers le module de communication, ledit message d'autorisation étant adapté pour valider des modifications dans le plan de vol, lesdites modifications ayant été négociées dans l'étape de négociation.
8. Procédé de communication selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'étape de négociation entre le module de communication et le système de contrôle aérien (20) est réalisée avant le début du vol de l'aéronef (12) et/ou en plein vol.
9. Système de contrôle aérien adapté pour être utilisé par un contrôleur aérien (21) pour contrôler un trafic aérien dans un espace aérien (30), ledit espace aérien

(30) étant divisé en une pluralité de régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305), chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption (K) dudit trafic aérien, ledit système de contrôle aérien (20) comprenant :

- un module de contrôle (ATC centre de contrôle courant), ledit module de contrôle étant adapté pour déterminer la capacité d'absorption (K) du trafic aérien pour chaque région d'information (301, 302, 303, 304, 305) ;
- un module d'environnement (ATC Green flag), ledit module d'environnement étant adapté pour déterminer des créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) à partir des capacités d'absorption (K) du trafic aérien des différentes régions d'information (301, 302, 303, 304, 305), lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information (301, 302, 303, 304, 305) de l'espace aérien, chaque créneau temporel d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) ayant un niveau d'efficacité (N1, N2, N3) associé, ledit module d'environnement (ATC Green flag) étant adapté pour négocier des modifications dans un plan de vol d'un aéronef destiné à traverser l'espace aérien (30), lesdites modifications étant déterminées en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et des niveaux d'efficacité (N1, N2, N3) desdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405).

10. Terminal électronique adapté pour être utilisé par un pilote (11) d'un aéronef (12) pour négocier des modifications dans un plan de vol dudit aéronef (12), ledit aéronef (12) étant destiné à traverser un espace aérien (30), ledit espace aérien (30) étant divisé en une pluralité de régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305), chaque région d'information de vol ayant une certaine capacité d'absorption (K) d'un trafic aérien, ledit terminal électronique (Pilot Green flag) comportant :

- un bloc de visualisation (102) de créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et de niveaux d'efficacité (N1, N2, N3) associés auxdits créneaux, lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) recouvrant au moins partiellement une ou plusieurs régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305) de l'espace aérien (30), lesdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et les niveaux d'efficacité (N1, N2, N3) associés auxdits créneaux

temporels d'optimisation environnementale étant déterminés à partir des capacités d'absorption (K) du trafic aérien des différentes régions d'information de vol (301, 302, 303, 304, 305) ;

- un bloc de négociation (104), ledit bloc de négociation étant adapté pour négocier des modifications dans le plan de vol dudit aéronef (12) en fonction des créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405) et des niveaux d'efficacité (N1, N2, N3) desdits créneaux temporels d'optimisation environnementale (401, 402, 403, 404, 405)

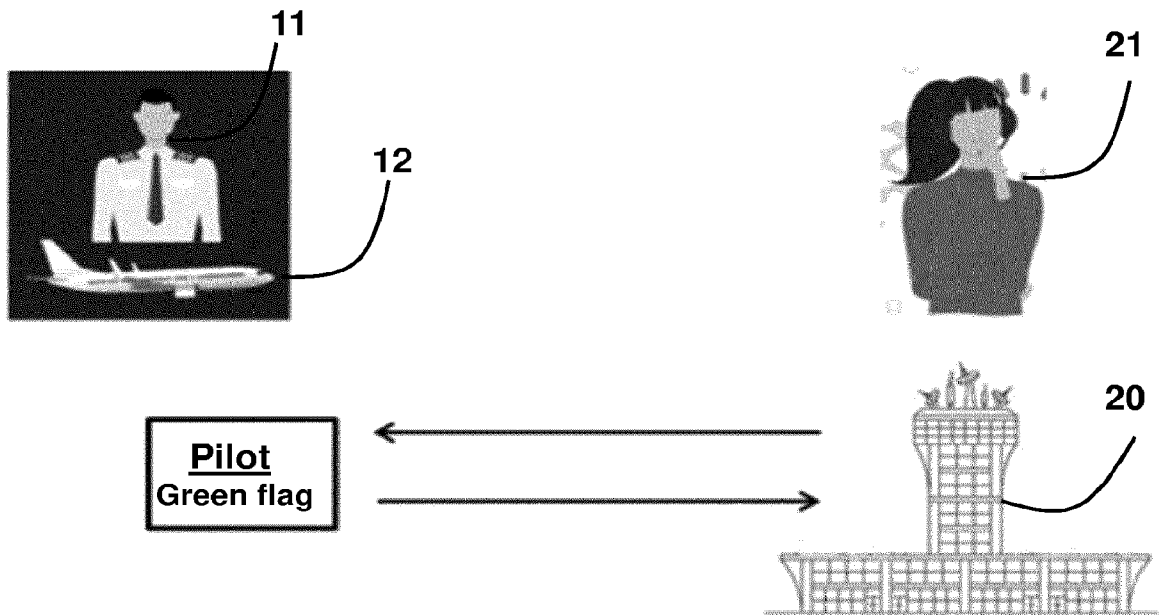


Fig.1

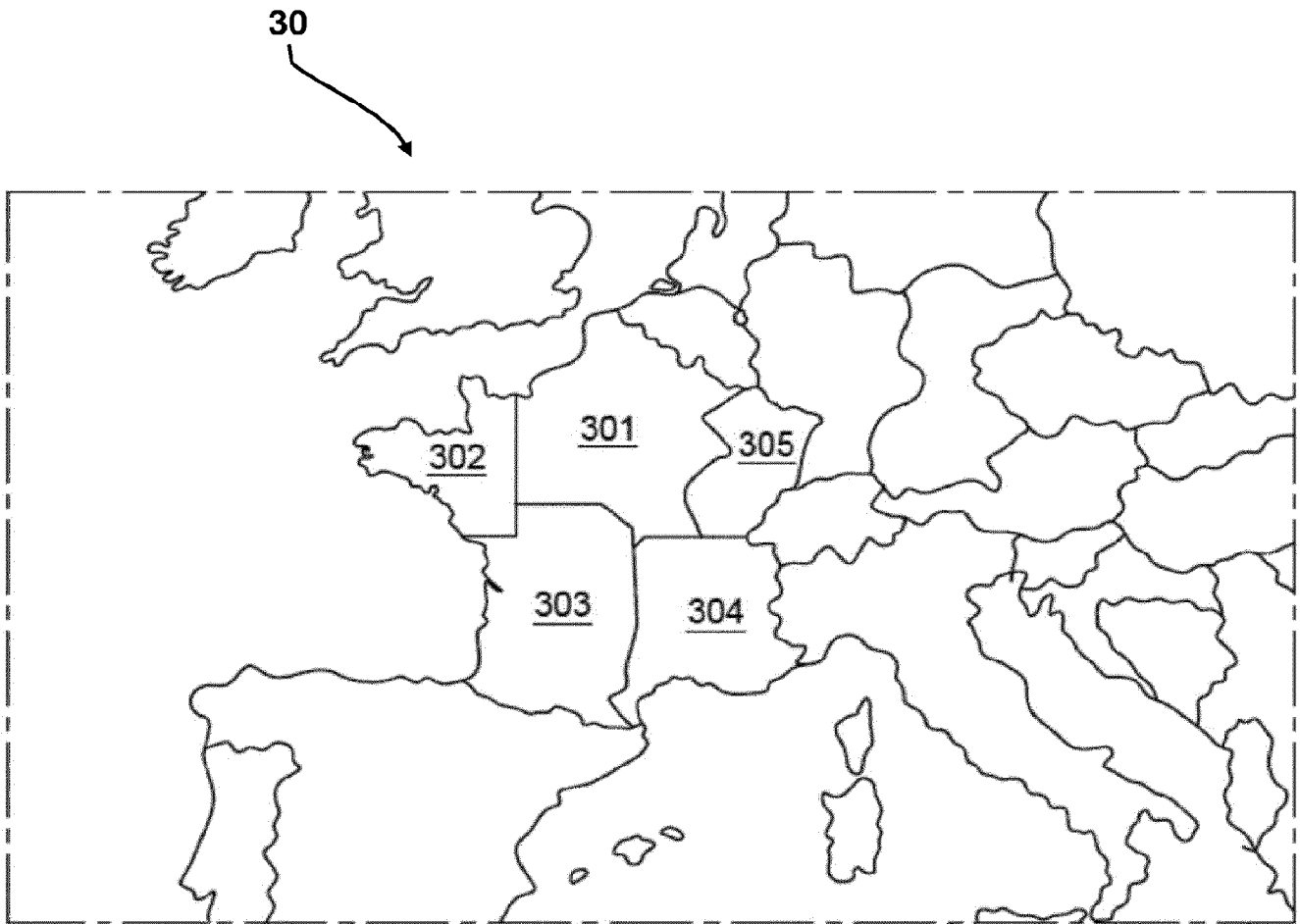


Fig.2

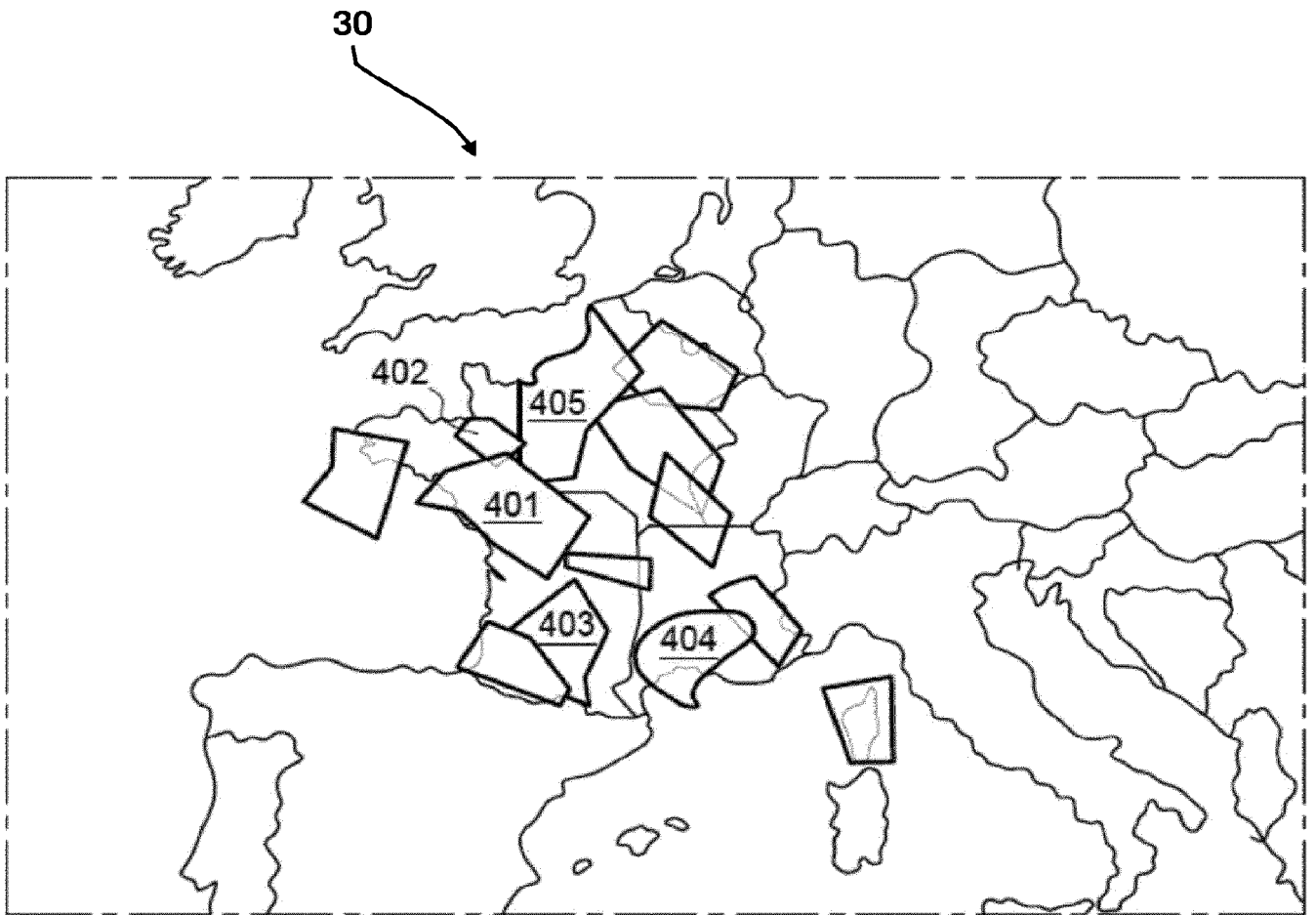


Fig.3

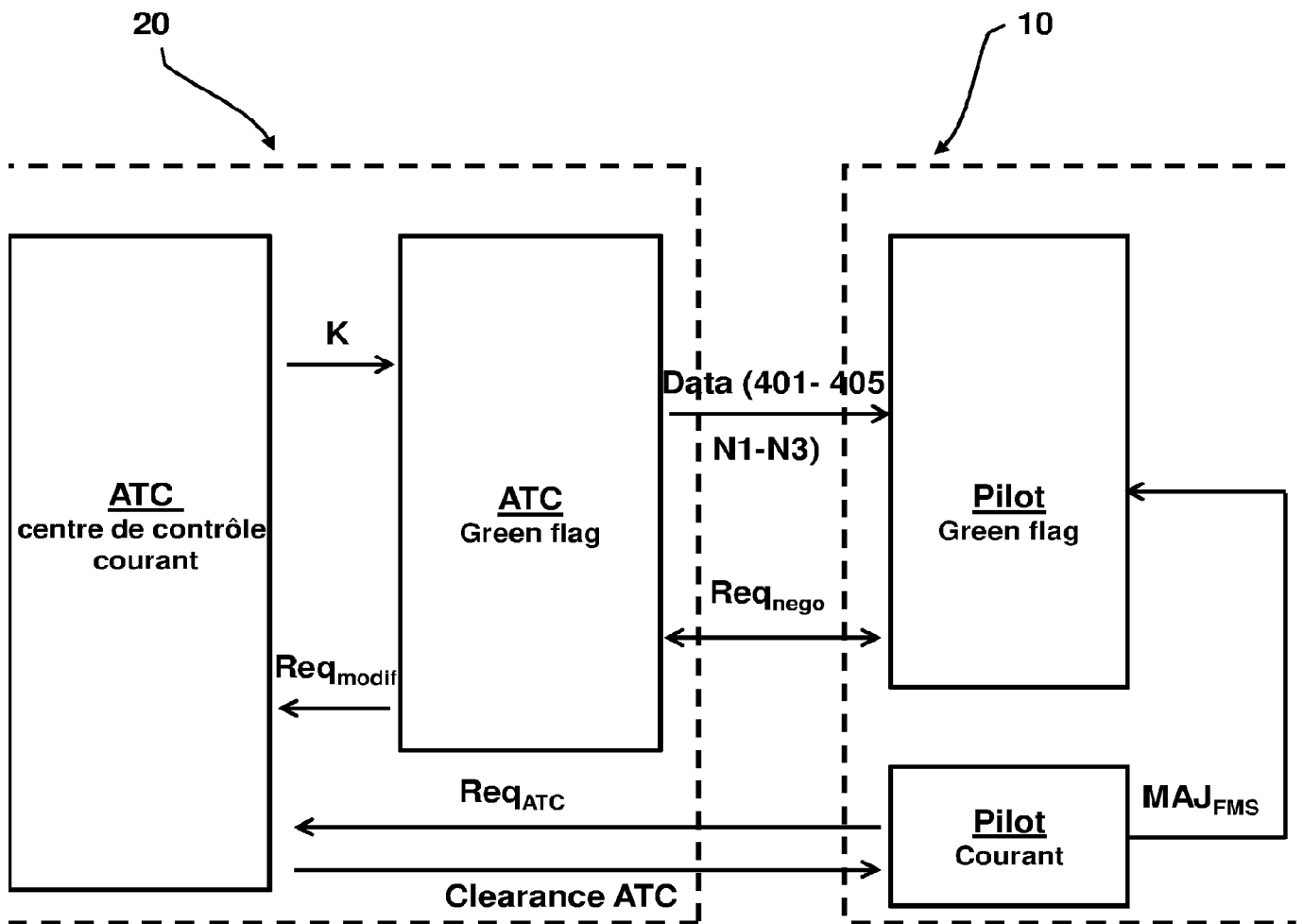


Fig.4

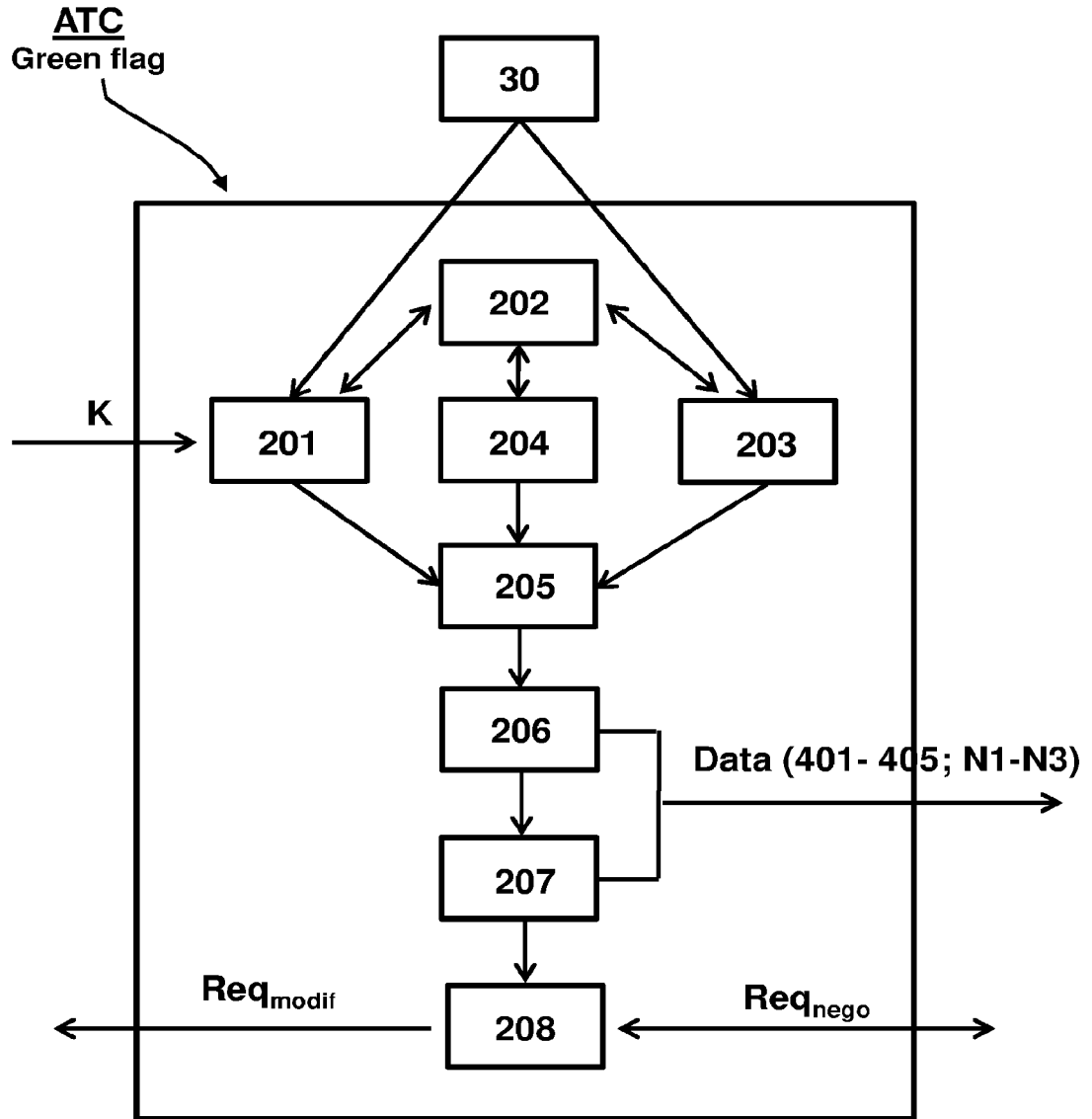
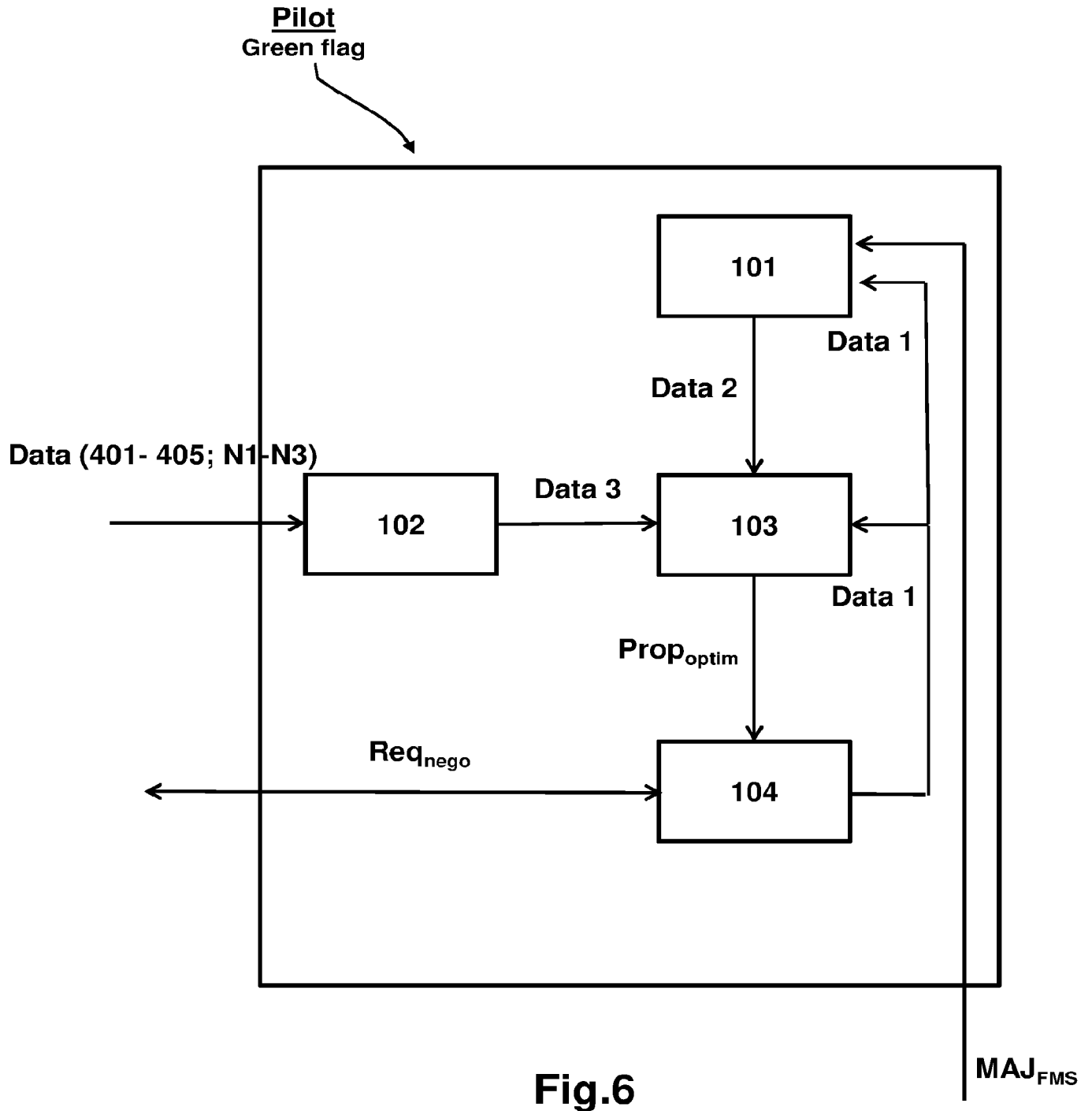


Fig.5



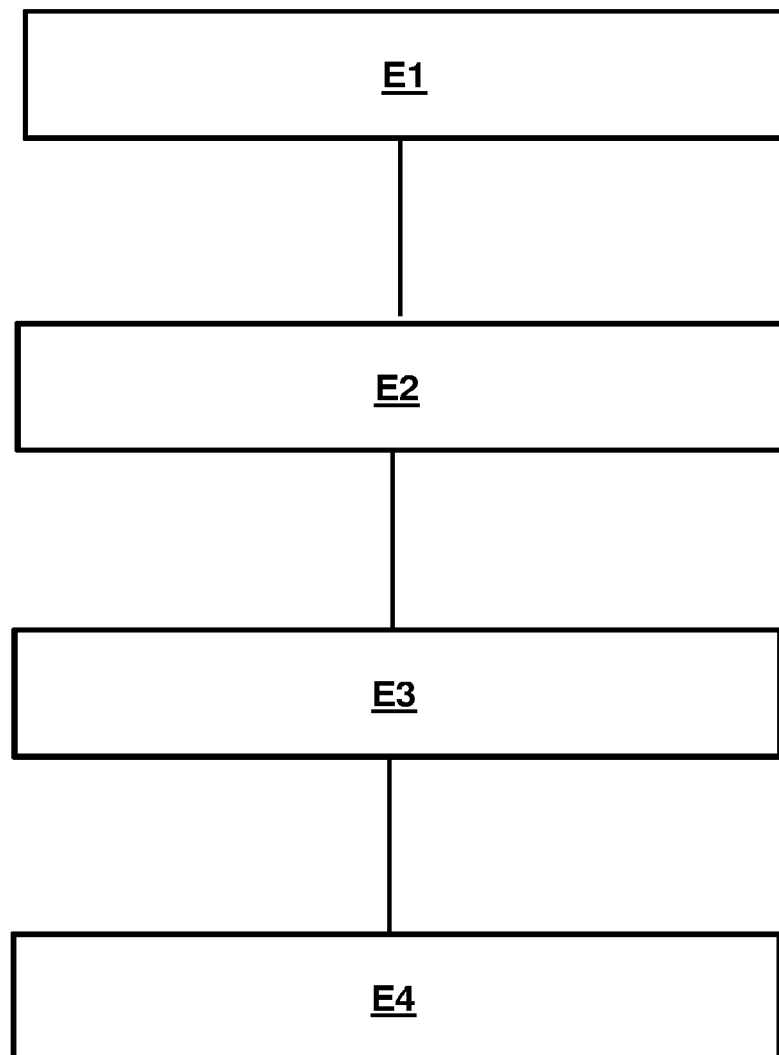


Fig.7

30



Fig.3