



DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
15.05.2024 Bulletin 2024/20

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F41H 11/02 ^(2006.01) **F41G 3/04** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **23198218.2**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F41H 11/02; F41G 3/04

(22) Date de dépôt: **19.09.2023**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

- **DEBRY, Edouard**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)
- **PEREL, Christophe**
92350 Le Plessis Robinson (FR)
- **KOTENKOFF, Alexandre**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)
- **DUMAS, Léo**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)
- **CASTEIGTS, Arnaud**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)

(30) Priorité: **09.11.2022 FR 2211569**

(71) Demandeur: **MBDA France**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)

(74) Mandataire: **Gevers & Orès**
Immeuble le Palatin 2
3 Cours du Triangle
CS 80165
92939 Paris La Défense Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **FORMOSO, Mathias**
92350 Le Plessis-Robinson (FR)

(54) **PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE DÉTERMINATION D'UN PLAN D'ENGAGEMENT POUR UN SYSTÈME DE DÉFENSE AÉRIENNE**

(57) - Procédé et dispositif de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne.

- Le dispositif détermine à l'aide d'une unité de traitement un plan d'engagement pour un système de défense aérienne (2) comprenant des munitions (Mj) tirées depuis des lanceurs (4), l'unité de traitement déterminant le plan d'engagement en mettant en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte, d'une part le nombre de munitions (Mj) du lanceur (4) représentant une première contrainte concernant les munitions (Mj) du lanceur (4), et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir, le plan d'engagement comprenant pour chaque cible (Ci) l'allocation d'une part d'une munition (Mj) particulière d'un lanceur (4) particulier et d'autre part d'une date de tir de ce munition (Mj), cette allocation satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes.

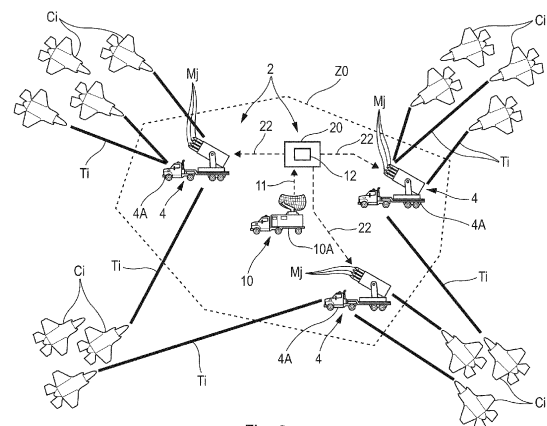


Fig. 2

Description

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne un procédé et un dispositif de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne, ainsi qu'une méthode et un système de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire comprenant, respectivement, un tel procédé et un tel dispositif.

Etat de la technique

[0002] La présente invention s'applique au domaine militaire, et plus précisément à une allocation de munitions, à savoir principalement des missiles, à des cibles (ou menaces) aériennes (« Weapon Target Assignment » en anglais). Dans un contexte militaire, la défense d'une zone face à une offensive aérienne ennemie, parfois avec un nombre élevé de menaces aériennes représentant une attaque saturante, requiert un traitement rapide et optimisé afin d'allouer au mieux les missiles disponibles pour traiter les menaces en maximisant l'espérance de survie des points stratégiques défendus.

[0003] En fonction des menaces, un plan d'engagement est, généralement, déterminé en tenant compte de critères opérationnels et techniques.

[0004] La détermination du plan d'engagement repose non seulement sur l'allocation des missiles disponibles aux cibles, mais également sur le choix de la date de tir de ces missiles. Une telle détermination peut se révéler très compliquée en raison des nombreuses contraintes et incertitudes qui existent dans une situation complexe de ce type.

[0005] Il existe, notamment, des contraintes liées au fait qu'un lanceur peut être équipé de plusieurs missiles et qu'un certain temps de préparation est nécessaire entre les tirs successifs de deux missiles et que les tirs ne peuvent être réalisés que durant des fenêtres de disponibilité particulières.

[0006] La modélisation d'un tel scénario pose donc un réel problème que les industriels de l'armement rencontrent dans l'élaboration de solutions répondant à cette difficulté. Le plan d'engagement devra être faisable et optimal en termes de probabilité de succès.

[0007] Il existe donc un besoin de trouver une solution permettant de déterminer un plan d'engagement satisfaisant les exigences précitées.

Exposé de l'invention

[0008] La présente invention concerne un procédé de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne, qui permet de répondre au besoin précité.

[0009] A cet effet, selon l'invention, ledit procédé de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne comprenant au moins des muni-

tions (notamment des missiles) susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs, au moins certains desdits lanceurs étant aptes à tirer plusieurs munitions, le plan d'engagement consistant à allouer des munitions du système de défense aérienne à des menaces aériennes dites cibles, ledit procédé comprenant les étapes suivantes, mises en oeuvre de façon automatique et successive :

- une étape de réception de données consistant à recevoir des données concernant au moins les munitions disponibles et des cibles détectées ; et
- une étape de traitement consistant, à l'aide des données reçues à l'étape de réception, à former le plan d'engagement, ledit plan d'engagement étant utilisé par le système de défense aérienne pour défendre une zone particulière contre les menaces aériennes,

est remarquable en ce que :

- l'étape de réception de données consiste à recevoir également, pour chaque lanceur de munitions du système de défense aérienne, d'une part le nombre de munitions du lanceur représentant une première contrainte concernant les munitions dudit lanceur, et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir ; et
- l'étape de traitement consiste à déterminer le plan d'engagement en prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes, ladite étape de traitement comprenant au moins :
 - une première sous-étape consistant à déterminer, pour chaque couple de cible et de munition, un bénéfice dit classique qui représente un paramètre permettant de quantifier l'intérêt d'utiliser la munition pour neutraliser la cible, ledit bénéfice classique dépendant d'une probabilité que la munition détruise la cible ;
 - une deuxième sous-étape consistant à déterminer, pour chaque couple de cible et de munition, un bénéfice dit adapté, en prenant en compte des conflits potentiels entre allocataires ; et
 - une troisième sous-étape consistant à mettre en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes et utilisant lesdits bénéfices adaptés pour tous les couples de munition et de cible, afin de déterminer le plan d'engagement, ledit plan d'engagement comprenant pour chacune desdites cibles l'allocation d'une part d'au moins une munition particulière d'un lanceur particulier et d'autre part d'une date de tir de cette munition, cette allocation satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes.

[0010] Ainsi, grâce à l'invention, on utilise un algorithme d'enchère pour déterminer le plan d'engagement. Un

tel algorithme d'enchère présente de très nombreux avantages. En particulier, il est très robuste, sa complexité permet d'appréhender en temps réel des attaques saturantes, et il converge vers un maximum global alors que les solutions usuelles de type « glouton » n'atteignent qu'un maximum local, sans garantie que celui-ci soit proche du maximum global.

[0011] De plus, surtout, grâce à l'invention, l'algorithme d'enchère est rendu applicable à la détermination du plan d'engagement, notamment par la détermination du bénéfice adapté. Dans l'application considérée, il existe, en effet, deux éléments à allouer (munition et date de tir) que l'on ne peut dissocier, et il peut apparaître des conflits entre allocations, qui pourraient invalider le plan d'engagement. Le procédé précité mettant en oeuvre l'algorithme d'enchère permet de répondre à une telle situation :

- d'une part, en satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes par la mise en oeuvre de l'algorithme d'enchère ; et
- d'autre part, en gérant lesdits conflits d'allocations (ou conflits légers) potentiels par le calcul et la prise en compte du bénéfice adapté au lieu d'un bénéfice classique (c'est-à-dire d'un bénéfice usuel d'un algorithme d'enchère).

[0012] Avantageusement, la première sous-étape détermine le bénéfice classique β_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta_{ij} = u_i p_{ij}$$

dans laquelle :

- p_{ij} est la probabilité qu'une munition d'indice j détruise une cible d'indice i , la probabilité dépendant de la munition et la date de tir de cette dernière ; et
- u_i est un critère de menace attribué à la cible d'indice i .

[0013] Le bénéfice classique β_{ij} est donc un paramètre qui permet de quantifier l'intérêt qu'il y a à utiliser une munition M_j pour neutraliser une cible C_i . Il pondère les assignations dans la fonction objectif à maximiser (précisée ci-dessous).

[0014] Le critère de menace u_i quantifie, quant à lui, le niveau de dangerosité en fonction de la classification de la cible. Il est d'autant plus important que la cible représente un danger immédiat ou plus généralement une priorité. Il est réglé en amont de l'algorithme d'enchère en fonction de la situation tactique et reste fixe tout au long du calcul.

[0015] En outre, de façon avantageuse, la deuxième sous-étape détermine le bénéfice adapté β'_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta'_{ij} = \beta_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{kl} c_{ijkl} x_{kl}$$

dans laquelle :

- β_{ij} est ledit bénéfice classique ;
- c_{ijkl} est un coefficient supérieur ou égal à zéro, qui illustre l'importance d'un conflit entre deux allocations $[ij]$ (munition M_j allouée à la cible C_i) et $[kl]$ (munition M_l allouée à la cible C_k) ; et
- x_{kl} est une valeur binaire qui vaut 1 si la munition d'indice l est allouée à la cible d'indice k et qui vaut 0 sinon.

[0016] Par ailleurs, avantageusement, la troisième sous-étape met en oeuvre l'algorithme d'enchère présentant les caractéristiques suivantes :

- chaque munition d'indice j étant caractérisé par un prix p_j , chaque cible mise sur la munition qui maxi-

$$\operatorname{argmax}_j \{ \beta'_{ij} - p_j \}$$

mise son profit , avec β_{ij}

- ledit bénéfice adapté ;
- la mise fait monter le prix de la munition jusqu'à la résolution de tous les conflits ;
- cette manière de procéder permet d'atteindre le maximum global de la somme :

$$\sum_{ij} \beta_{ij} x_{ij}, \quad \beta_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \geq 0$$

avec les limitations suivantes sur chaque cible et chaque munition :

$$\sum_j x_{ij} = M_i, \quad \sum_i x_{ij} \leq N_j$$

selon lesquelles l'algorithme d'enchère alloue exactement M_i munitions à la cible d'indice i et n'alloue pas plus de N_j fois le type de la munition d'indice j dans un lanceur donné ; et

- la convergence est obtenue lorsque chaque cible a alloué le nombre voulu de munitions.

[0017] Lesdites premières et secondes contraintes sont prises en compte dans des inégalités similaires à la formulation :

$$\sum_i x_{ij} \leq N_j$$

[0018] Ainsi, par exemple dans le cas d'un stock de munitions, le nombre N_j correspond au nombre maximal de munitions du lanceur dans lequel se trouve la munition j . Dans le cas du nombre de dates de tir, le nombre N_j est le nombre maximal de tirs que le lanceur peut effectuer dans le créneau de tir où se trouve la date de tir de la munition j dans son lanceur.

[0019] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de traitement consiste à déterminer également, pour le plan d'engagement, au moins l'un des paramètres suivants pour chacun des munitions :

- si la munition est pourvue d'un autoguidage pour le guidage terminal, une fréquence pour ledit autoguidage ; et
- un canal montant.

[0020] La présente invention concerne également une méthode de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, à l'aide d'un système de défense aérienne comprenant au moins des munitions susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs.

[0021] Selon l'invention, ladite méthode comprend au moins les étapes suivantes :

- une étape de détection consistant à détecter des objets aériens (ou objets volants) dans une zone donnée ;
- une étape d'identification et de classification consistant à identifier, parmi les objets aériens détectés, ceux qui représentent des menaces aériennes dites cibles et à déterminer une classification pour chacune des cibles identifiées ;
- une étape de prédiction consistant à prédire une trajectoire future pour chacune des cibles identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ;
- une étape de calcul consistant à calculer une fenêtre d'interception, pour chaque couple de munition et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible et d'un domaine d'interception de la munition, chacune desdites fenêtres d'interception étant transformée en une fenêtre de disponibilité ;
- une étape de traitement consistant à déterminer un plan d'engagement en tenant compte desdites fenêtres de disponibilité, l'étape de traitement mettant en oeuvre un procédé d'optimisation d'un plan d'engagement tel que celui précité ; et
- une étape d'exécution du plan d'engagement.

[0022] Dans un mode de réalisation particulier, chaque cible correspondant à un type particulier de cible parmi des types susceptibles d'être différents, l'étape de traitement

prend en compte, pour chaque type de cible, une règle d'engagement et/ou une politique de tir.

[0023] La présente invention concerne, en outre, un dispositif de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne comprenant au moins des munitions susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs, au moins certains desdits lanceurs étant aptes à tirer plusieurs munitions, le plan d'engagement consistant à allouer des munitions du système de défense aérienne à des menaces aériennes dites cibles.

[0024] Selon l'invention, ledit dispositif de détermination d'un plan d'engagement, qui comporte au moins les unités suivantes :

- une unité de réception de données configurée pour recevoir des données concernant au moins les munitions disponibles et des cibles détectées ; et
- une unité de traitement configurée pour, à l'aide des données reçues de l'unité de réception de données, former le plan d'engagement, ledit plan d'engagement étant utilisé par le système de défense aérienne pour défendre une zone particulière contre les menaces aériennes,

est remarquable en ce que :

- l'unité de réception de données est configurée pour recevoir également, pour chaque lanceur de munitions du système de défense aérienne, d'une part le nombre de munitions du lanceur représentant une première contrainte concernant les munitions dudit lanceur, et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir ; et
- l'unité de traitement est configurée pour déterminer le plan d'engagement en prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes, l'unité de traitement comportant au moins :
 - un premier élément configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible et de munition, un bénéfice dit classique qui représente un paramètre permettant de quantifier l'intérêt d'utiliser la munition pour neutraliser la cible, ledit bénéfice classique dépendant d'une probabilité que la munition détruise la cible ;
 - un deuxième élément configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible d'indice et de munition, un bénéfice dit adapté, en prenant en compte des conflits (dits légers) potentiels entre allocations ; et
 - un troisième élément configuré pour mettre en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes et utilisant lesdits bénéfices adaptés pour tous les couples de munition et de cible, afin de déterminer le plan d'engagement, ledit plan d'engagement comprenant pour chaque ci-

ble l'allocation d'une part d'au moins une munition particulière d'un lanceur particulier et d'autre part d'une date de tir de cette munition, cette allocation satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes.

[0025] Par ailleurs, la présente invention concerne également un système de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, à l'aide d'un système de défense aérienne tel que précité.

[0026] Selon l'invention, ledit système de traitement de menaces aériennes comporte au moins les unités suivantes :

- une unité de détection configurée pour détecter des objets aériens dans une zone donnée ;
- une unité d'identification et de classification configurée pour identifier, parmi les objets aériens détectés, ceux qui représentent des menaces aériennes dites cibles, et pour déterminer une classification pour chacune des cibles identifiées ;
- une unité de prédiction configurée pour prédire une trajectoire future pour chacune des cibles identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ;
- une unité de calcul configurée pour calculer une fenêtre d'interception, pour chaque couple de munition et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible et d'un domaine d'interception de la munition, chacune desdites fenêtres d'interception étant transformée en une fenêtre de disponibilité ; et
- une unité de traitement configurée pour déterminer un plan d'engagement en tenant compte desdites fenêtres de disponibilité, l'unité de traitement comprenant un dispositif de détermination d'un plan d'engagement tel que celui décrit ci-dessus, ledit plan d'engagement étant susceptible d'être exécuté par ledit système de défense aérienne.

Brève description des figures

[0027] D'autres caractéristiques et avantages du dispositif, du système, du procédé et/ou de la méthode selon l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit d'exemples de réalisation donnés à titre illustratif et nullement limitatifs, annexés des figures suivantes.

La figure 1 est le schéma synoptique d'un système de traitement de menaces conforme à un mode de réalisation particulier de l'invention, comprenant un dispositif de détermination d'un plan d'engagement. La figure 2 est une vue schématique d'un exemple de système de défense aérienne qui protège une zone terrestre contre des menaces aériennes. La figure 3 illustre schématiquement une méthode de traitement de menaces, mise en oeuvre à l'aide du système de traitement de menaces de la figure 1.

La figure 4 est un graphique illustrant, schématiquement et très partiellement, les relations entre des missiles du système de défense aérienne et des cibles correspondant à des menaces aériennes.

Description détaillée

[0028] Le dispositif 1 illustrant un mode de réalisation particulier de l'invention et représenté schématiquement sur la figure 1 est destiné à déterminer un plan d'engagement pour un système de défense aérienne 2 représenté sur la figure 2.

[0029] Le système de défense aérienne 2 est destiné à protéger une zone donnée, telle que la zone Z0 au sol montrée sur la figure 2, et ceci contre des menaces aériennes. La zone à protéger peut être une zone terrestre et/ou une zone maritime.

[0030] Pour ce faire, le système de défense aérienne 2 comporte une pluralité de lanceurs 4 dont chacun est susceptible de tirer au moins une munition et de préférence une pluralité de munitions.

[0031] Dans le cadre la présente invention, une munition correspond à tout objet ou engin de neutralisation, par exemple un missile ou un drone ou plus généralement un ensemble d'effecteurs, susceptible d'endommager ou de neutraliser (et détruire) une menace aérienne. De préférence, les munitions correspondent à des missiles. Aussi, à titre d'illustration non limitative, nous ferons référence dans la description suivante à des missiles Mi comme munitions. Bien entendu, d'autres munitions pourraient être prises en compte de façon similaire.

[0032] Concernant les missiles Mi utilisés par le système de défense aérienne 2, il peut s'agir de tout type usuel de missile, de préférence de type sol-air mais non exclusivement. Quant aux lanceurs 4, il peut s'agir de lanceurs installés à poste fixe ou de lanceurs montés sur des engins mobiles 4A, notamment des engins aptes à rouler au sol.

[0033] Les menaces aériennes (représentant, dans le cadre de la présente invention, des cibles Ci pour le système de défense aérienne 2) peuvent correspondre, quant à elles, à tous types d'armes ou d'engins aériens ennemis, et notamment à des avions, des missiles, des drones, ..., susceptibles de porter atteinte (endommager, détruire, ...) par exemple des infrastructures ou autres éléments localisés dans la zone Z0 à protéger.

[0034] Dans l'exemple de la figure 2, les menaces aériennes (ou cibles Ci) s'approchent de la zone Z0 à protéger en suivant des trajectoires Ti (dites futures, par rapport à l'instant présent), dont certaines ont été représentées à titre d'exemple sur cette figure 2.

[0035] Dans l'exemple particulier de la figure 2 :

- la zone Z0 à protéger est une zone polygonale au sol ;
- les lanceurs 4 sont des engins mobiles 4A lanceurs de missiles Mj, dont chacun est apte à tirer une pluralité de missiles Mj, les missiles Mj étant tirés l'un

après l'autre pour un lanceur 4 ; et

- les cibles Ci (ou menaces aériennes) correspondent à des avions de chasse.

[0036] Le dispositif 1 qui est destiné à déterminer le plan d'engagement fait partie d'un système 3 de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, représenté sur la figure 1. Le plan d'engagement consiste à allouer des missiles Mj du système de défense aérienne 2 à des menaces aériennes (cibles Ci), comme précisé ci-dessous, c'est-à-dire à identifier des missiles Mj particuliers qui seront utilisés ou pourront être utilisés par le système de défense aérienne 2 pour neutraliser des cibles Ci particulières.

[0037] Pour ce faire, le dispositif 1 comporte les unités suivantes, comme représenté sur la figure 1 :

- une unité de réception de données 5 configurée pour recevoir des données concernant au moins les missiles Mj disponibles ainsi que des cibles Ci détectées, comme précisé ci-après ; et
- une unité de traitement 6 configurée pour former le plan d'engagement, à l'aide des données reçues de l'unité de réception 5. Le plan d'engagement qui pourra ensuite être utilisé par le système de défense aérienne 2 pour défendre la zone Z0 contre les menaces aériennes.

[0038] De plus, l'unité de réception de données 5 est configurée pour recevoir également, pour chaque lanceur 4 de missiles Mj du système de défense aérienne 2 :

- d'une part, le nombre de missiles Mj du lanceur 4, ce nombre représentant une (première) contrainte concernant les missiles Mj dudit lanceur 4 ; et
- d'autre part, un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité, ce nombre représentant une (seconde) contrainte concernant les dates de tir.

[0039] En outre, l'unité de traitement 6 est configurée pour déterminer le plan d'engagement en prenant en compte ces premières et secondes contraintes pour l'ensemble des lanceurs 4 considérés, et elle comprend :

- un élément 7 configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible et de missile, un bénéfice dit classique ;
- un élément 8 configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible et de missile, un bénéfice dit adapté à partir du bénéfice classique ; et
- un élément 9 configuré pour mettre en oeuvre un algorithme d'enchère utilisant lesdits bénéfices adaptés pour les différents couples de missile et de cible, de manière à déterminer le plan d'engagement.

[0040] Le plan d'engagement comprend, pour chaque cible Ci, l'allocation d'une part d'un missile Mj particulier

d'un lanceur 4 particulier et d'autre part d'une date de tir du missile Mj, cette allocation satisfaisant lesdites première et seconde contraintes précitées.

[0041] Quant au système 3, il comporte, en plus du dispositif 1, comme représenté sur la figure 1, les unités suivantes :

- une unité de détection 10 configurée pour détecter des objets aériens dans une zone donnée de l'espace autour de la zone Z0 à protéger ; et
- un dispositif de traitement de données 12, relié par l'intermédiaire d'une liaison 11 (par exemple une liaison filaire ou une liaison radio) à l'unité de détection 10, le dispositif de traitement de données 12 comprenant le dispositif 1.

[0042] L'unité de détection 10 comporte des systèmes et moyens usuels, et notamment un ou plusieurs radars, tel qu'un radar 10A mobile comme représenté sur la figure 2, aptes à détecter automatiquement des objets aériens entrant dans une zone surveillée de l'espace qui est située autour de la zone Z0 à protéger. L'unité de détection 10 fournit automatiquement des données (position, trajectoire, ...) relatives à des objets aériens détectés au dispositif de traitement de données 12.

[0043] Le système 3 comprend également une unité d'entrée de données 13 qui est reliée par l'intermédiaire d'une liaison 14 (par exemple une liaison filaire ou une liaison radio) au dispositif de traitement de données 12 et qui permet à un opérateur d'entrer des données dans le système 3. L'unité d'entrée de données 13 peut comporter un clavier, une souris, un pavé tactile, ..., ou tout autre moyen usuel, associé par exemple à un écran, qui permet à un opérateur d'entrer des données telles que précisées ci-dessous.

[0044] En outre, le dispositif de traitement de données 12 comporte :

- une unité d'identification et de classification 15 configurée pour identifier, parmi les objets aériens détectés par l'unité de détection 10 et reçus via la liaison 11 (filaire ou radio), ceux qui représentent des menaces aériennes (dites cibles) et pour définir une classification pour chacune des cibles identifiées ;
- une unité de prédiction 16 configurée pour prédire une trajectoire future pour chacune des cibles identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ;
- une unité de calcul 17 configurée pour calculer une fenêtre d'interception, pour chaque couple de missile et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible et d'un domaine d'interception du missile. Chacune des fenêtres d'interception est transformée, de façon usuelle, en une fenêtre de disponibilité ; et
- une unité de traitement (en l'occurrence le dispositif 1) qui est configurée pour déterminer un plan d'en-

gagement en tenant compte des fenêtres de disponibilité.

[0045] Le dispositif 1 transmet ensuite le plan d'engagement, par l'intermédiaire d'une liaison 18 (par exemple une liaison filaire ou une liaison radio) à des moyens utilisateurs 19, par exemple à des moyens d'affichage (qui affichent ce plan d'allocation optimal sur un écran à disposition d'un opérateur) ou à une interface homme/machine. En particulier, les éléments 13 et 19 peuvent faire partie d'une même interface homme/machine.

[0046] Le système 3 de traitement de menaces aériennes vise à répondre en temps réel et en continu à des situations d'attaque d'une zone Z0 à défendre, en associant à chaque cible identifiée comme telle, au moins un missile Mj d'un lanceur 4. Ce système 3 peut être situé dans un centre de commande et de calcul 20 (figures 2 et 3).

[0047] Le système 3 utilise le système de défense aérienne 2 qui comprend :

- un ou plusieurs radars 10A ;
- plusieurs lanceurs 4 de missiles Mj ;
- une ou plusieurs liaisons montantes (non représentées) pour guider les missiles ; et
- le centre de commande et de calcul 20 qui détermine le plan d'engagement.

[0048] La liaison entre ces différents éléments peut être une liaison filaire ou une liaison radio.

[0049] Le système 3 fait face à de multiples défis qui sont susceptibles de le mettre en défaut, et notamment :

- des attaques saturantes, comme représenté sur la figure 2, pour lesquelles le nombre de cibles Ci est proche ou égal au nombre de munitions Mj ;
- des cibles imprévisibles, qui manoeuvrent au dernier moment ; et
- de nouvelles menaces aériennes, comme des drones évoluant en essaim.

[0050] Le système 3 est apte à mettre en oeuvre une méthode de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, à l'aide d'un système de défense aérienne 2 comprenant au moins des missiles Mj susceptibles d'être tirés depuis des lanceurs 4.

[0051] Sur la figure 3, on a représenté un exemple de mise en oeuvre d'une telle méthode. Plus précisément, dans cet exemple, la méthode présente les étapes suivantes, mises en oeuvre de façon successive :

- une étape de détection E1, mise en oeuvre par l'unité de détection 10, consistant à détecter des objets aériens dans une zone donnée ;
- une étape d'identification et de classification E2, mise en oeuvre par l'unité d'identification et de classification 15, consistant à identifier, parmi les objets aériens détectés, ceux qui représentent des mena-

ces aériennes dites cibles, et à définir une classification pour chacune des cibles identifiées ;

- une étape de prédiction E3, mise en oeuvre par l'unité de prédiction 16, consistant à déterminer une trajectoire future pour chacune des cibles identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ;
- une étape de calcul E4, mise en oeuvre par l'unité de calcul 17, consistant à calculer une fenêtre d'interception pour chaque couple de missile et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible et d'un domaine d'interception du missile, chacune desdites fenêtres d'interception étant transformée en fenêtre de disponibilité ;
- une étape de traitement E5, mise en oeuvre par le dispositif 1, consistant à déterminer un plan d'engagement en tenant compte desdites fenêtres de disponibilité, l'étape de traitement E5 utilisant un procédé de détermination d'un plan d'engagement tel que précisé ci-dessous ; et
- une étape d'exécution du plan d'engagement, mise en oeuvre par au moins certains des lanceurs 4 du système de défense aérienne 2.

[0052] On décrit ci-dessous, plus en détail, les étapes précitées de la méthode de traitement de menaces aériennes.

[0053] L'étape de détection E1, mise en oeuvre par l'unité de détection 10, consiste donc à détecter des objets aériens dans une zone donnée de l'espace.

[0054] Pour ce faire, l'unité de détection 10 comprenant, par exemple, les radars 10A, reçoit en continu des informations de position d'objets aériens (ou volants) pénétrant dans ladite zone ou s'y trouvant déjà, c'est-à-dire une position dans l'espace à une date donnée.

[0055] Les informations de position sont fusionnées entre elles lorsqu'elles représentent le même objet aérien. Elles sont ensuite associées aux informations de position antérieures pour former des objets ou engins aériens distincts, essentiellement par corrélation. La fréquence d'arrivée des informations de position est, généralement, de quelques secondes au plus, en fonction de la vitesse de rotation du ou des radars 10A utilisés.

[0056] Lorsqu'un nouvel objet aérien est détecté à l'étape de détection E1 par l'unité de détection 10, l'unité d'identification et de classification 15 réalise, à l'étape d'identification et de classification E2 qui suit, tout d'abord de façon usuelle une identification. L'identification a pour objectif de déterminer si l'objet aérien détecté par l'unité de détection 10 est un objet ami ou un objet ennemi, c'est-à-dire une menace. Cette identification usuelle peut, par exemple, être réalisée par interrogation de type IFF (pour « Identification Friend or Foe » en anglais), l'absence de réponse de l'objet aérien ne signifiant toutefois pas nécessairement qu'il est un ennemi.

[0057] Si l'objet aérien identifié est déterminé comme étant un objet ennemi, c'est-à-dire une cible, l'unité d'identification et de classification 15 réalise une classi-

fication à l'étape d'identification et de classification E2. A cet effet, l'unité d'identification et de classification 15 détermine le type (ou classe) de la cible. La connaissance du type (chasseur, hélicoptère, missile, ...) de la cible permet, notamment, de déterminer sa trajectoire et sa dangerosité. A titre d'exemple, un chasseur, qui peut relâcher instantanément une dizaine de bombes, est potentiellement plus dangereux qu'un simple missile. On attribuera donc, dans ce cas, au chasseur, un indice de menace (précisé ci-dessous) plus élevé qu'à un missile.

[0058] Lorsqu'un ou plusieurs objets aériens sont désignés comme des cibles Ci, l'unité de prédiction 16 détermine, à l'étape de prédiction E3 qui suit, de façon usuelle, la trajectoire future de chacune de ces cibles. Elle peut utiliser, pour ce faire, la classification de la cible, obtenue à l'étape d'identification et de classification E2. En effet, un objet aérien, par exemple un chasseur ou un missile, est contraint dans son évolution par sa dynamique de vol, ce qui permet de prédire sa trajectoire future.

[0059] L'unité de prédiction 16 peut également utiliser pour prédire la trajectoire future d'une cible Ci, le cas échéant, un point visé par la cible Ci, en particulier dans le domaine naval.

[0060] Puis, à l'étape de calcul E4 suivante, l'unité de calcul 17 calcule une fenêtre d'interception pour chaque couple de missile et de cible, à l'aide de la trajectoire future prédite de la cible, déterminée à l'étape de prédiction E3, ainsi que d'un domaine d'interception du missile. La fenêtre d'interception concerne une suite (continue ou discrète) de points (ou de dates) d'interception.

[0061] Quant au domaine d'interception d'un missile, il correspond à un domaine en trois dimensions autour de la position du missile dans lequel la probabilité que celui-ci atteigne la cible est d'au moins un pourcentage prédéterminé, de préférence de 90%. Ce domaine d'interception est, par exemple, déterminé à l'étape de calcul E4, par une simulation usuelle de type « Monte Carlo ».

[0062] Ensuite, à l'étape de traitement E5 qui suit, le dispositif 1 détermine le plan d'engagement en tenant compte les fenêtres de disponibilité déterminées à l'étape de calcul E4. L'étape de traitement E5 met en oeuvre un procédé de détermination d'un plan d'engagement décrit plus en détail ci-dessous.

[0063] Le plan d'engagement consiste à associer (ou allouer) de manière optimale à chaque cible un ou plusieurs missiles en tenant compte des fenêtres d'interception, transformées en fenêtre de disponibilité. La durée de calcul ne doit pas dépasser quelques centaines de millisecondes, typiquement 200 ms.

[0064] Un opérateur, notamment de la chaîne de commandement et de calcul 20, peut intervenir à l'étape de traitement E5 pour configurer, pour chaque type de cible, comme illustré par une flèche 21 sur la figure 3 :

- une règle d'engagement, c'est-à-dire en particulier définir si l'on souhaite tirer au plus tôt, intercepter le plus loin possible ou le plus tard, ou bien laisser la

cible s'approcher ; et

- une politique de tir (« Fire Policy » en anglais), prévoyant :

- 5 • une stratégie de tir de type « SSL » (pour « Shoot-Shoot Look » en anglais) consistant à tirer deux missiles et à attendre l'interception ; ou
- 10 • une stratégie de tir « SLS » (pour « Shoot Look Shoot » en anglais) consistant à tirer un missile, à attendre l'interception, puis à tirer un nouveau missile en cas d'échec.

[0065] Pour ce faire, l'opérateur peut utiliser l'unité d'entrée de données 13 pour entrer dans le dispositif de traitement de données 12 les données permettant de configurer la règle d'engagement et la politique de tir.

[0066] Une fois le plan d'engagement calculé, c'est-à-dire un ensemble d'allocations valides obtenu, se pose la question de son exécution lorsque la date de tir d'un missile alloué arrive à échéance. Un opérateur, notamment de la chaîne de commandement et de calcul 20, peut intervenir à l'étape d'exécution E6 pour donner un ordre de tir, comme illustré par une flèche 22 sur la figure 3. Lorsque l'ordre de tir est donné, l'étape d'exécution E6 du plan d'engagement est mise en oeuvre par les lanceurs 4 du système de défense aérienne 2.

[0067] Une fois le plan d'engagement exécuté (ou non), la méthode précitée peut être de nouveau mise en oeuvre en commençant par la détection des objets aériens. Les missiles précédemment alloués, mais non tirés, peuvent être réalloués, en suivant l'optimum qui s'adapte continuellement à la nouvelle situation.

[0068] Un cycle complet de la méthode est mis en oeuvre, en au plus quelques secondes.

[0069] Comme illustré sur la figure 1, la méthode peut également comporter une étape E12 intermédiaire entre les étapes E1 et E2. Lorsqu'un missile précédemment tiré arrive à son point d'interception, l'étape E12 (« Kill Assessment » en anglais) vérifie si la cible a bien été traitée (neutralisée) comme prévu, ce qui permet de savoir s'il est nécessaire ou non de prendre en compte cette cible comme nouvelle cible dans la suite de la méthode.

[0070] On décrit à présent, plus en détail, le procédé de détermination d'un plan d'engagement, mis en oeuvre par le dispositif 1 à l'étape de traitement E5.

[0071] Le plan d'engagement comprend, pour chaque cible, une allocation particulière. Chaque allocation (ou association) d'éléments destinés au traitement (ou à la neutralisation d'une cible) est un groupe d'éléments représentant des paramètres de réglage du système de défense aérienne 2 pour le traitement des menaces aériennes. Chaque allocation comprend :

- 55 - la désignation de la cible (c'est-à-dire une menace aérienne détectée) considérée ;
- la désignation d'un missile particulier qui est tiré par un lanceur 4 particulier et qui est destiné à traiter

cette cible ; et

- une date de tir particulière, à savoir le moment exact où ledit missile doit être tiré par ledit lanceur pour traiter (notamment neutraliser) ladite cible.

[0072] Il est donc nécessaire que le système de défense aérienne 2 connaisse, pour chaque cible, le missile qui est destiné à la neutraliser et la date (ou moment) de tir de ce missile. En effet, dans le cadre de la présente invention, un lanceur 4 comprend plusieurs missiles Mj et plusieurs fenêtres de disponibilité à l'intérieur desquelles peuvent être réalisés un certain nombre de tirs de missiles sachant que le lanceur 4 peut uniquement tirer un seul missile à la fois et qu'en raison d'un temps de préparation d'un nouveau tir, deux tirs successifs sont espacés d'une certaine durée.

[0073] Pour chaque lanceur 4 de munitions Mj du système de défense aérienne 2, il est ainsi nécessaire de tenir compte du nombre (ou stock) de munitions Mj du lanceur 4, ce qui représente une (première) contrainte concernant les munitions Mj dudit lanceur 4, et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité, ce qui représente une (seconde) contrainte concernant les dates de tir.

[0074] De plus, il n'est pas possible de séparer les deux contraintes, car la probabilité p_{ij} que le missile Mj détruise la cible Ci dépend autant des caractéristiques du missile Mj (et de la position du lanceur 4) que de la date à laquelle il est tiré.

[0075] De plus, lorsque deux missiles se font face au moment d'allumer leur autodirecteur, ils risquent de se prendre pour cible l'un l'autre, et si leurs autodirecteurs sont électromagnétiques et de fréquences proches, ils vont interférer. On dénomme conflits légers, ces conflits qui ont lieu entre allocations (missiles), par opposition à des conflits durs (ou de ressources) qui ont lieu entre cibles. Grâce à l'invention, les conflits durs sont résolus par l'utilisation d'un algorithme d'enchère et les conflits légers par la détermination d'un bénéfice adapté qui est utilisé par l'algorithme d'enchère, comme précisé ci-dessous.

[0076] Pour illustrer une allocation, on a représenté sur la figure 4, certaines cibles C1 à C4 de la menace aérienne auxquelles peuvent être allouées des missiles M1 à M6 du système de défense aérienne 2. On a uniquement représenté les liens concernant les cibles C1 et C2 pour des raisons de clarté de la figure 4. Bien entendu, il convient également de tenir compte des dates de tir, comme indiqué précédemment.

[0077] Comme précisé ci-dessous, le procédé de détermination d'un plan d'engagement, mis en oeuvre par le dispositif 1 à l'étape de traitement E5, va utiliser un algorithme (ou procédé ou système) dit d'enchère. Comme l'objet des enchères n'est pas uniquement le missile, mais le couple missile et date de tir, il n'est pas possible d'utiliser tel quel un algorithme d'enchère classique car ce dernier n'intègre qu'un seul type de contrainte par objet. Ce problème est résolu par le procédé (de déter-

mination de plan d'engagement) de la manière décrite ci-dessous.

[0078] Ledit procédé ou étape de traitement E5 (figure 3) pour la détermination d'un plan d'engagement, comprend les étapes suivantes, mises en oeuvre de façon automatique et successive :

- une étape de réception de données E5A, mise en oeuvre par l'unité 5, consistant à recevoir des données concernant au moins les missiles disponibles et les cibles détectées. L'étape de réception de données E5A consiste à recevoir également, pour chaque lanceur de missiles du système de défense aérienne, d'une part le nombre de missiles du lanceur représentant une première contrainte concernant les missiles dudit lanceur, et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir ; et
- une étape de traitement E5B, mise en oeuvre par l'unité 6, consistant, à l'aide des données reçues à l'étape de réception de données E5A, à former le plan d'engagement.

[0079] L'étape de traitement E5B mise en oeuvre par l'unité 6, consiste à déterminer le plan d'engagement en prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes, et cette étape de traitement E5B comprend au moins :

- une sous-étape E5B1 mise en oeuvre par l'élément 7, consistant à déterminer, pour chaque couple de cible Ci d'indice i et de missile Mj d'indice j , un bénéfice dit classique β_{ij} qui représente un paramètre permettant de quantifier l'intérêt d'utiliser le missile Mj pour neutraliser la cible Ci. Ce bénéfice classique β_{ij} dépend d'une probabilité que la munition Mj d'indice j détruise la cible Ci d'indice i ;
- une sous-étape E5B2 mise en oeuvre par l'élément 8, consistant à déterminer, pour chaque couple de cible Ci d'indice i et de missile Mj d'indice j , un bénéfice β'_{ij} dit adapté qui prenant en compte les conflits légers potentiels entre les allocations ; et
- une sous-étape E5B3 mise en oeuvre par l'élément 9, consistant à mettre en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes et utilisant lesdits bénéfices β'_{ij} adaptés pour tous les couples de missile et cible, afin de déterminer le plan d'engagement.

[0080] A la première sous-étape E5B1, l'élément 7 détermine le bénéfice classique β_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta_{ij} = u_i p_{ij}$$

dans laquelle :

- p_j est la probabilité qu'un missile M_j d'indice j détruise une cible C_i d'indice i , la probabilité dépendant du missile M_j et de la date de tir ; et
- u_i est un critère de menace attribué à la cible d'indice i .

[0081] Ce critère de menace est un facteur qui est représentatif de la dangerosité de la menace (ou cible). La dangerosité dépend principalement du type (ou classe) de la cible. Il est d'autant plus important que la cible représente un danger immédiat ou plus généralement une priorité. Il est réglé en amont de l'algorithme d'enchère en fonction de la situation tactique et reste fixe tout au long du calcul.

[0082] Le critère de menace u_i quantifie, quant à lui, le niveau de dangerosité en fonction de la classification de la cible. Il est d'autant plus important que la cible représente un danger immédiat ou plus généralement une priorité. Il est réglé en amont de l'algorithme d'enchère en fonction de la situation tactique et reste fixe tout au long du calcul.

[0083] En outre, à la sous-étape E5B2, l'élément 8 détermine le bénéfice adapté β_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta'_{ij} = \beta_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{kl} c_{ijkl} x_{kl}$$

dans laquelle :

- β_{ij} est le bénéfice classique déterminé à la sous-étape E5B1 ;
- c_{ijkl} est un coefficient supérieur ou égal à zéro, qui illustre l'importance du conflit entre deux allocations $[ij]$ (munition M_j allouée à la cible C_i) et $[kl]$ (munition M_l allouée à la cible C_k) ; et
- x_{kl} est une valeur binaire qui vaut 1 si la munition d'indice l est allouée à la cible d'indice k et qui vaut 0 sinon.

[0084] Si l'allocation $[kl]$ est en conflit avec l'allocation $[ij]$ et si la munition M_l est allouée à la cible C_k alors x_{kl} vaut 1 et le bénéfice β_{ij} est diminué de la valeur c_{ijkl} , ce qui va pousser l'algorithme à choisir une autre munition M_j' pour la cible C_i . Le coefficient c_{ijkl} est déterminé à partir des règles de sécurité entre les différentes trajectoires de munitions. A titre d'exemple, il peut représenter la distance que doivent respecter deux munitions entre elles par sécurité.

[0085] Par ailleurs, à la sous-étape E5B3, l'élément 9 met en oeuvre l'algorithme d'enchère. L'algorithme d'enchère présente les caractéristiques suivantes :

- chaque missile j étant caractérisé par un prix p_j , chaque cible mise sur le missile qui maximise son profit

$$\underset{j}{argmax} \{ \beta'_{ij} - p_j \}, \text{ avec } \beta_{ij} \text{ le bénéfice}$$

adapté déterminé à la sous-étape E5B2 ;

- la mise fait monter le prix de la munition jusqu'à la résolution de tous les conflits ;
- cette manière de procéder permet d'atteindre le maximum global de la somme :

$$\sum_{ij} \beta_{ij} x_{ij}, \beta_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \geq 0$$

avec les deux limitations suivantes sur chaque cible et chaque missile :

$$\sum_j x_{ij} = M_i, \quad \sum_i x_{ij} \leq N_j$$

[0086] Selon ces deux limitations, l'algorithme d'enchère alloue exactement M_i missiles à la cible d'indice i et n'alloue pas plus de N_j fois le type du missile d'indice j dans un lanceur donné ;

- la convergence est obtenue lorsque chaque cible a alloué le nombre voulu de missiles.

[0087] A la sous-étape E5B3, lesdites premières et secondes contraintes sont prises en compte dans des inégalités similaires à la formulation :

$$\sum_i x_{ij} \leq N_j$$

[0088] Ainsi, par exemple dans le cas d'un stock de munitions, le nombre N_j correspond au nombre maximal de munitions du lanceur dans lequel se trouve la munition j . Dans le cas du nombre de dates de tir, le nombre N_j est le nombre maximal de tirs que le lanceur peut effectuer dans le créneau de tir où se trouve la date de tir de la munition j dans son lanceur.

[0089] Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de traitement E5 consiste à déterminer également, dans le plan d'engagement, au moins l'un des paramètres suivants pour chacun des missiles :

- une fréquence d'autodirecteur si le missile est pourvu d'un autodirecteur (à guidage électromagnétique) pour le guidage terminal ; et
- un canal montant. Un canal est une zone dans l'espace entourant une trajectoire de vol qui est destinée à être suivie par un missile. Ce canal qui présente

un couloir d'évolution pour le missile est dit montant, car le missile part du sol vers le haut en direction de la cible à neutraliser.

[0090] Dans ce mode de réalisation particulier, le plan d'engagement comprend, pour chaque cible, une allocation particulière. Chaque allocation (ou association) d'éléments est un groupe d'éléments représentant des paramètres de réglage du système de défense aérienne 2 pour le traitement des menaces aériennes. Chaque allocation comporte, dans ce cas :

- la cible ;
- un missile particulier apte à être tiré à partir d'un lanceur particulier pour traiter (neutraliser) la cible ;
- une date de tir particulière, c'est-à-dire le moment exact où ledit missile doit être tiré par ledit lanceur pour traiter (notamment neutraliser) ladite cible ;
- une fréquence d'autodirecteur particulière si le missile est pourvu d'un autodirecteur pour le guidage terminal (à guidage électromagnétique) ; et
- un canal montant particulier, pour l'évolution du missile en direction de la cible.

[0091] Pendant la première phase de vol après son tir, le missile est guidé vers la cible depuis le sol à travers le canal montant. En attribuant à chaque missile un canal distinct, on empêche l'apparition d'interférences entre les missiles qui seraient susceptibles d'invalider le plan d'engagement.

[0092] Dans la phase terminale du vol, l'autodirecteur du missile, qui repose sur une détection électromagnétique ou infrarouge de la cible, est activé, et il est utilisé pour guider le missile jusqu'à l'interception de la cible. Il convient donc de veiller à ce que les missiles utilisent des fréquences électromagnétiques bien distinctes, sinon elles pourraient interférer et faire échouer le plan d'engagement.

[0093] Le dispositif 1, tel que décrit ci-dessus, présente ainsi de très nombreux avantages. Il en est de même du système 3 qui utilise ce dispositif 1.

[0094] Le dispositif 1 réalise les traitements de façon rapide et adaptée à la situation complexe considérée.

[0095] Pour ce faire, le dispositif 1 utilise un algorithme d'enchère pour déterminer le plan d'engagement et bénéficie ainsi des avantages d'un tel algorithme d'enchère. En particulier, l'algorithme d'enchère est très robuste, sa complexité permet d'appréhender en temps réel des attaques saturantes, et il converge vers un maximum global alors que les solutions usuelles de type « glouton » n'atteignent qu'un maximum local, sans garantie que celui-ci soit proche du maximum global.

[0096] De plus, surtout, l'algorithme d'enchère est rendu applicable à la détermination du plan d'engagement, notamment par la détermination du bénéfice adapté, en prenant en compte les deux contraintes précitées. Dans les applications considérées, il existe, en effet, deux éléments (munition et date de tir) que l'on ne peut dissocier,

et il peut apparaître des conflits entre allocations, qui pourraient invalider le plan d'engagement. Le procédé précité mettant en oeuvre l'algorithme d'enchère permet de répondre à une telle situation :

- d'une part, en satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes par la mise en oeuvre de l'algorithme d'enchère ; et
- d'autre part, en gérant lesdits conflits d'allocations (ou conflits légers) potentiels par le calcul et la prise en compte du bénéfice adapté au lieu d'un bénéfice classique (c'est-à-dire d'un bénéfice usuel d'un algorithme d'enchère).

[0097] Le dispositif 1 et le système 3 permettent donc de répondre en temps réel et en continu à des situations d'attaque d'une zone à défendre, en associant à chaque cible identifiée comme telle, un missile dans un lanceur avec une date de tir. Ils permettent de résoudre une situation complexe difficile à résoudre par des moyens usuels, et notamment à la fois les conflits lourds et les conflits légers qui peuvent se présenter dans les applications envisagées.

Revendications

1. Procédé de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne (2) comprenant au moins des munitions (Mi) susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs (4), au moins certains desdits lanceurs (4) étant aptes à tirer plusieurs munitions (Mj), le plan d'engagement consistant à allouer des munitions (Mj) du système de défense aérienne (2) à des menaces aériennes dites cibles (Ci), chaque allocation étant un groupe d'éléments représentant des paramètres de réglage du système de défense aérienne (2) pour le traitement des menaces aériennes, ledit procédé comprenant les étapes suivantes, mises en oeuvre de façon automatique et successive, par un dispositif (1) de détermination d'un plan d'engagement :

- une étape de réception de données (E5A) mise en oeuvre par une unité de réception de données (5) du dispositif (1) de détermination d'un plan d'engagement et consistant à recevoir des données concernant au moins les munitions (Mj) disponibles et des cibles (Ci) détectées ; et
- une étape de traitement (E5B) mise en oeuvre par une unité de traitement (6) du dispositif (1) de détermination d'un plan d'engagement et consistant, à l'aide des données reçues à l'étape de réception (E5A), à former le plan d'engagement, ledit plan d'engagement étant utilisé par le système de défense aérienne (2) pour défendre une zone (Z0) particulière contre les menaces aériennes,

caractérisé en ce que :

- l'étape de réception de données (E5A) consiste à recevoir également, pour chaque lanceur (4) de munitions (Mj) du système de défense aérienne (2), d'une part le nombre de munitions (Mj) du lanceur (4) représentant une première contrainte concernant les munitions (Mj) dudit lanceur (4), et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir ; et
- l'étape de traitement (E5B) consiste à déterminer le plan d'engagement en prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes, ladite étape de traitement (E5B) comprenant au moins :

- une première sous-étape (E5B1) consistant à déterminer, pour chaque couple de cible (Ci) et de munition (Mj), un bénéfice dit classique qui représente un paramètre permettant de quantifier l'intérêt d'utiliser la munition (Mj) pour neutraliser la cible (Ci), ledit bénéfice classique dépendant d'une probabilité que la munition (Mj) détruise la cible (Ci) ;
- une deuxième sous-étape (E5B2) consistant à déterminer, pour chaque couple de cible et de munition, un bénéfice dit adapté, en prenant en compte des conflits potentiels entre allocations ; et
- une troisième sous-étape (E5B3) consistant à mettre en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes et utilisant lesdits bénéfices adaptés pour tous les couples de munition et cible, afin de déterminer le plan d'engagement, ledit plan d'engagement comprenant pour chacune desdites cibles (Ci) l'allocation d'une part d'au moins une munition (Mj) particulière d'un lanceur (4) particulier et d'autre part d'une date de tir de cette munition (Mj), cette allocation satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la première sous-étape (E5B1) détermine le bénéfice classique β_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta_{ij} = u_i p_{ij}$$

dans laquelle :

- p_{ij} est la probabilité qu'une munition (Mj) d'in-

dice j détruise une cible (Ci) d'indice i, la probabilité dépendant de la munition (Mj) et de la date de tir de cette dernière ; et
- u_i est un critère de menace attribué à la cible (Ci) d'indice i.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce que** la deuxième sous-étape (E5B2) détermine le bénéfice adapté β'_{ij} à l'aide de l'expression suivante :

$$\beta'_{ij} = \beta_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{kl} c_{ijkl} x_{kl}$$

dans laquelle :

- β_{ij} est ledit bénéfice classique ;
- c_{ijkl} est un coefficient supérieur ou égal à zéro, qui illustre l'importance d'un conflit entre deux allocations [ij] et [kl] ; et
- x_{kl} est une valeur binaire qui vaut 1 si la munition d'indice l est allouée à la cible d'indice k et qui vaut 0 sinon.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la troisième sous-étape (E5B3) met en oeuvre l'algorithme d'enchère présentant les caractéristiques suivantes :

- chaque munition (Mj) d'indice j étant **caractérisé par** un prix p_j , chaque cible (Ci) mise sur la munition (Mj) qui maximise son profit

$\operatorname{argmax}_j \{\beta'_{ij} - p_j\}$, avec β'_{ij} ledit bénéfice adapté ;
- la mise fait monter le prix de la munition (Mj) jusqu'à la résolution de tous les conflits ;
- cette manière de procéder permet d'atteindre le maximum global de la somme :

$$\sum_{ij} \beta_{ij} x_{ij}, \quad \beta_{ij} \geq 0, \quad x_{ij} \geq 0$$

avec les limitations suivantes sur chaque cible (Ci) et chaque munition (Mj) :

$$\sum_j x_{ij} = M_i, \quad \sum_i x_{ij} \leq N_j$$

selon lesquelles l'algorithme d'enchère alloue

- exactement M_i munitions à la cible d'indice i et n'alloue pas plus de N_j fois le type de la munition d'indice j dans un lanceur (4) donné ; et
- la convergence est obtenue lorsque chaque cible a alloué le nombre voulu de munitions.
- 5
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'étape de traitement (E5) consiste à déterminer également, pour le plan d'engagement, au moins l'un des paramètres suivants pour chacun des munitions (Mj) :
- 10
- si la munition (Mj) est pourvue d'un autodirecteur pour le guidage terminal, une fréquence pour ledit autodirecteur ;
 - un canal montant.
- 15
6. Méthode de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, à l'aide d'un système de défense aérienne (2) comprenant au moins des munitions (Mj) susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs (4),
- 20
- caractérisée en ce qu'elle** comprend au moins les étapes suivantes :
- 25
- une étape de détection (E1) consistant à détecter des objets aériens dans une zone donnée ;
 - une étape d'identification et de classification (E2) consistant à identifier, parmi les objets aériens détectés, ceux qui représentent des menaces aériennes dites cibles (Ci), et à déterminer une classification pour chacune des cibles (Ci) ainsi identifiées ;
 - une étape de prédiction (E3) consistant à prédire une trajectoire future pour chacune des cibles (Ci) identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ;
 - une étape de calcul (E4) consistant à calculer une fenêtre d'interception, pour chaque couple de munition et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible (Ci) et d'un domaine d'interception de la munition (Mj), chacune desdites fenêtres d'interception étant transformée en une fenêtre de disponibilité ;
 - une étape de traitement (E5) consistant à déterminer un plan d'engagement en tenant compte desdites fenêtres de disponibilité, l'étape de traitement (E5) mettant en oeuvre un procédé de détermination d'un plan d'engagement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5 ; et
 - une étape (E6) d'exécution du plan d'engagement.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
7. Méthode selon la revendication 6,
- 55
- caractérisée en ce que**, chaque cible (Ci) correspondant à un type particulier de cible parmi des types différents, l'étape de traitement (E5) prend en comp-

te, pour chaque type de cible, une règle d'engagement et/ou une politique de tir.

8. Dispositif de détermination d'un plan d'engagement pour un système de défense aérienne (2) comprenant au moins des munitions (Mj) susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs (4), au moins certains desdits lanceurs (4) étant aptes à tirer plusieurs munitions (Mj), le plan d'engagement consistant à allouer des munitions (Mj) du système de défense aérienne (2) à des menaces aériennes dites cibles (Ci), chaque allocation étant un groupe d'éléments représentant des paramètres de réglage du système de défense aérienne (2) pour le traitement des menaces aériennes, ledit dispositif (1) comportant au moins les unités suivantes :

- une unité de réception de données (5) configurée pour recevoir des données concernant au moins les munitions (Mj) disponibles et des cibles (Ci) détectées ; et
- une unité de traitement (6) configurée pour, à l'aide des données reçues de l'unité de réception de données (5), former le plan d'engagement, le plan d'engagement consistant à allouer à chaque cible (Ci) détectée une ou plusieurs munitions (Mj), ledit plan d'engagement étant utilisé par le système de défense aérienne (2) pour défendre une zone (Z0) particulière contre les menaces aériennes,

caractérisé en ce que :

- l'unité de réception de données (5) est configurée pour recevoir également, pour chaque lanceur (4) de munitions (Mj) du système de défense aérienne (2), d'une part le nombre de munitions (Mj) du lanceur (4) représentant une première contrainte concernant les munitions (Mj) dudit lanceur (4), et d'autre part un nombre de dates de tir dans des fenêtres de disponibilité représentant une seconde contrainte concernant les dates de tir ; et
- l'unité de traitement (6) est configurée pour déterminer le plan d'engagement en prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes, l'unité de traitement (6) comportant au moins :

- un premier élément (7) configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible (Ci) et de munition (Mj), un bénéfice dit classique qui représente un paramètre permettant de quantifier l'intérêt d'utiliser la munition (Mj) pour neutraliser la cible (Ci), ledit bénéfice classique dépendant d'une probabilité que la munition (Mj) détruit la cible

- (Ci) ;
- un deuxième élément (8) configuré pour déterminer, pour chaque couple de cible d'indice et de munition, un bénéfice dit adapté, en prenant en compte des conflits potentiels entre allocations ; et 5
 - un troisième élément (9) configuré pour mettre en oeuvre un algorithme d'enchère prenant en compte lesdites premières et secondes contraintes et utilisant lesdits bénéfices adaptés pour tous les couples de munition et cible, afin de déterminer le plan d'engagement, ledit plan d'engagement comprenant pour chaque cible (Ci) l'allocation d'une part d'au moins une munition (Mj) particulière d'un lanceur (4) particulier et d'autre part d'une date de tir de cette munition (Mj), cette allocation satisfaisant lesdites premières et secondes contraintes. 10 15 20
9. Système de traitement de menaces aériennes dans le domaine militaire, à l'aide d'un système de défense aérienne (2) comprenant au moins des munitions (Mj) susceptibles d'être tirées depuis des lanceurs (4), 25
- caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les unités suivantes :
- une unité de détection (10) configurée pour détecter des objets aériens dans une zone donnée ; 30
 - une unité d'identification et de classification (15) configurée pour identifier, parmi les objets aériens détectés, ceux qui représentent des menaces aériennes dites cibles (Ci), et pour définir une classification pour chacune des cibles (Ci) identifiées ; 35
 - une unité de prédiction (16) configurée pour prédire une trajectoire future pour chacune des cibles (Ci) identifiées, au moins à partir de la classification correspondante ; 40
 - une unité de calcul (17) configurée pour calculer une fenêtre d'interception, pour chaque couple de munition et de cible, en fonction de la trajectoire future prédite de la cible (Ci) et d'un domaine d'interception de la munition (Mj), chacune desdites fenêtres d'interception étant transformée en une fenêtre de disponibilité ; et 45
 - une unité de traitement (1) configurée pour déterminer un plan d'engagement en tenant compte desdites fenêtres de disponibilité, l'unité de traitement comprenant un dispositif (1) de détermination d'un plan d'engagement selon la revendication 8, ledit plan d'engagement étant susceptible d'être exécuté par ledit système de défense aérienne (2). 50 55

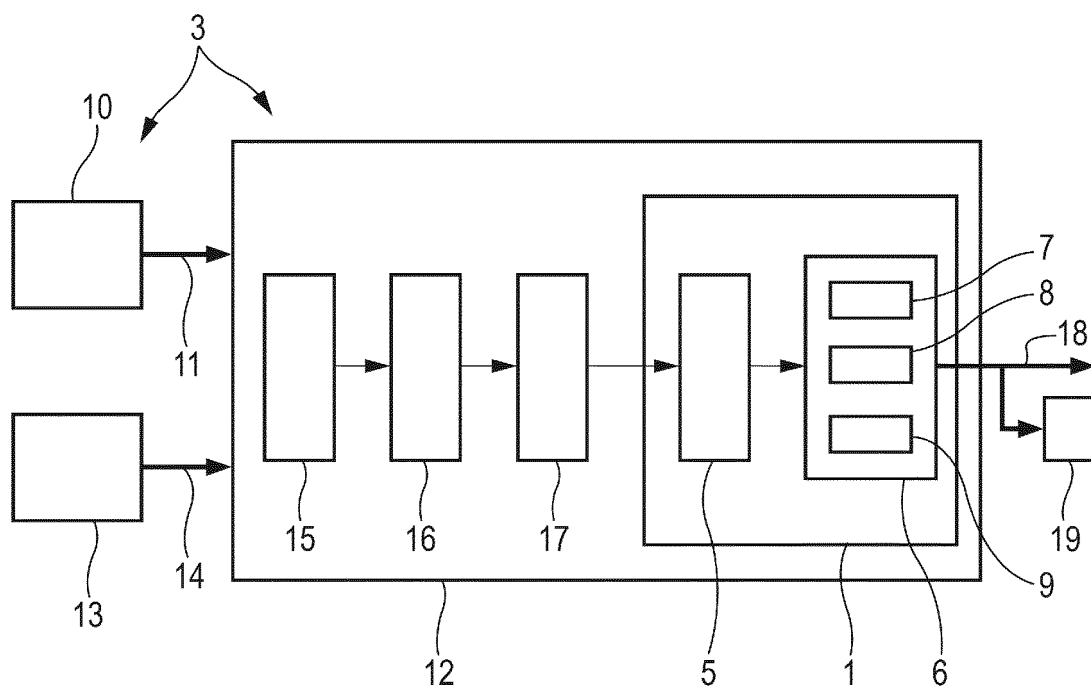


Fig. 1

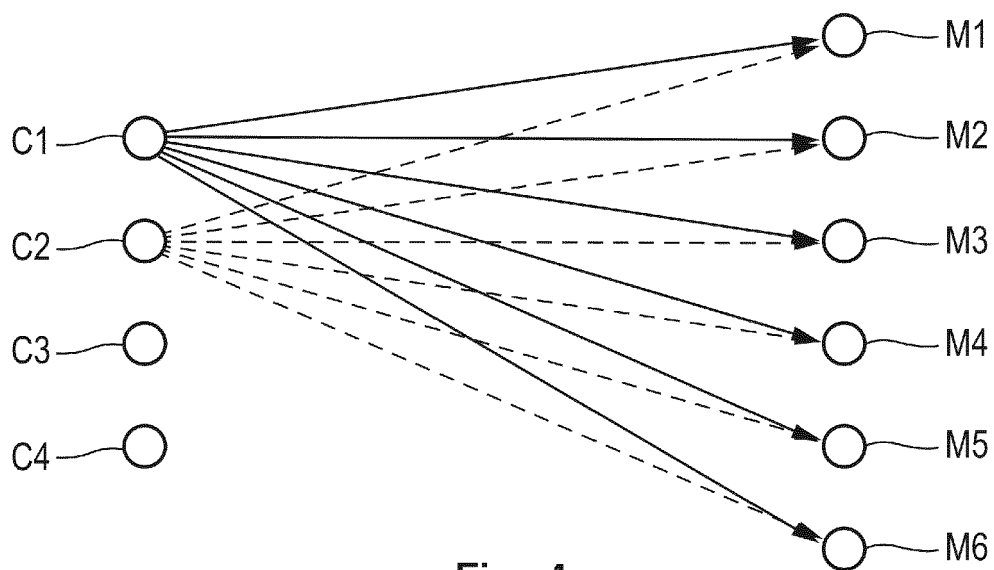


Fig. 4

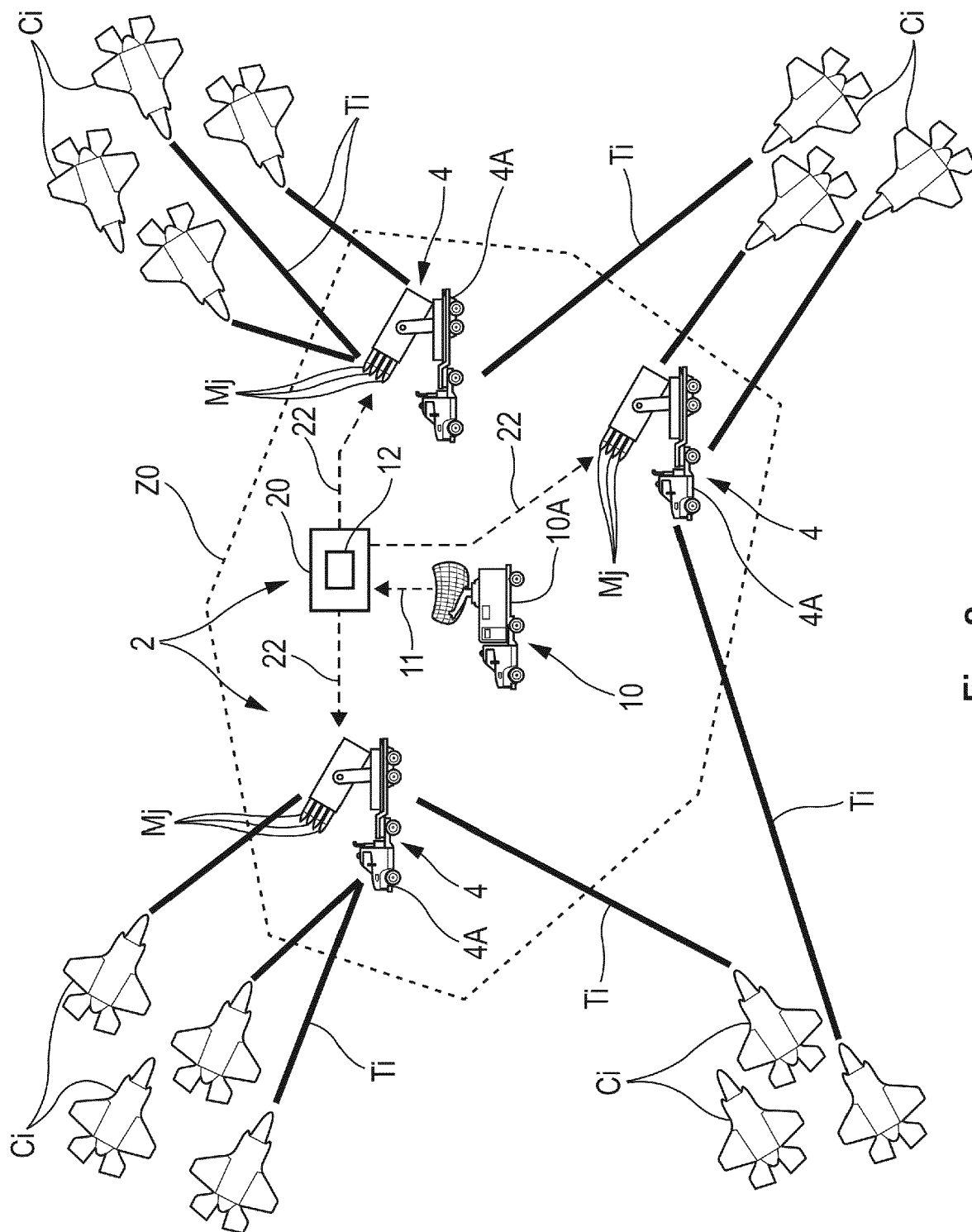


Fig. 2

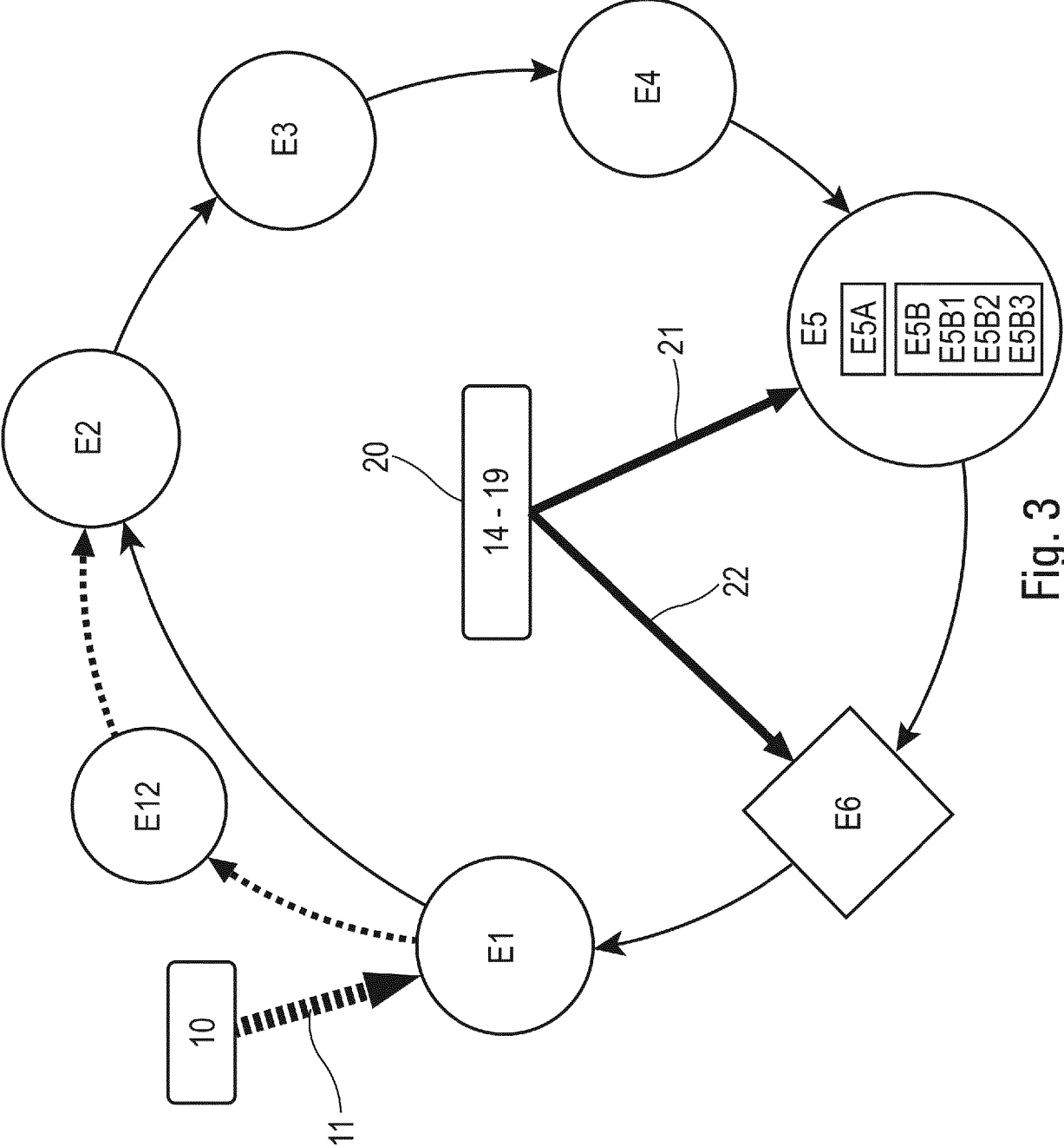


Fig. 3



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 23 19 8218

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	US 6 497 169 B1 (RAYTHEON CO [US]) 24 décembre 2002 (2002-12-24) * le document en entier * -----	1-9	INV. F41H11/02 F41G3/04
A	EP 2 239 533 A1 (BAE SYSTEMS PLC [GB]) 13 octobre 2010 (2010-10-13) * abrégé; figures * * alinéa [0002] * * alinéas [0015] - [0032] * -----	1-9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F41H F41G
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		14 décembre 2023	Schwingel, Dirk
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.****EP 23 19 8218**

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

14-12-2023

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
	US 6497169	B1	24-12-2002	AUCUN

15	EP 2239533	A1	13-10-2010	AUCUN

20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82