



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
29.05.2013 Bulletin 2013/22

(51) Int Cl.:
H04K 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **12193882.3**

(22) Date de dépôt: **22.11.2012**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME

• **Heurguier, Dominique**
92230 Gennevilliers (FR)
• **Gerfault, Bertrand**
92230 Gennevilliers (FR)

(30) Priorité: **24.11.2011 FR 1103578**

(71) Demandeur: **Thales**
92200 Neuilly Sur Seine (FR)

(74) Mandataire: **Dudouit, Isabelle et al**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble " Visium "
22, avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **Delaveau, François**
92230 Gennevilliers (FR)

(54) **Procédé de brouillage de communications dans un réseau contrôlé en boucle fermée**

(57) Procédé de brouillage sélectif, dynamique et adaptatif des radiocommunications tierces externes à un réseau de radiocommunication à protéger, comportant des émetteurs/récepteurs de télécommunications à préserver, ledit procédé utilisant les éléments suivants :

- des brouilleurs programmables et dynamiquement configurables,
- des séquences de signaux numériques émis par les brouilleurs adaptés à permettre des mesures précises de canal de transmission, et des mesures de puissance de brouillage au niveau des postes de réception amis,

- des séquences de signaux numériques émis par les émetteurs amis adaptés à permettre des mesures précises de canal de transmission, et des mesures de puissance de signal utile et de puissance de signal brouillage au niveau des postes amis,
- des communications entre réseaux de brouilleurs, organe de gestion du réseau de brouilleurs, réseau ami, et organe de contrôle et noeuds de communication du réseau ami,
- une station maître permettant l'élaboration de consignes d'émission pour les brouilleurs avec une boucle d'asservissement fermée.

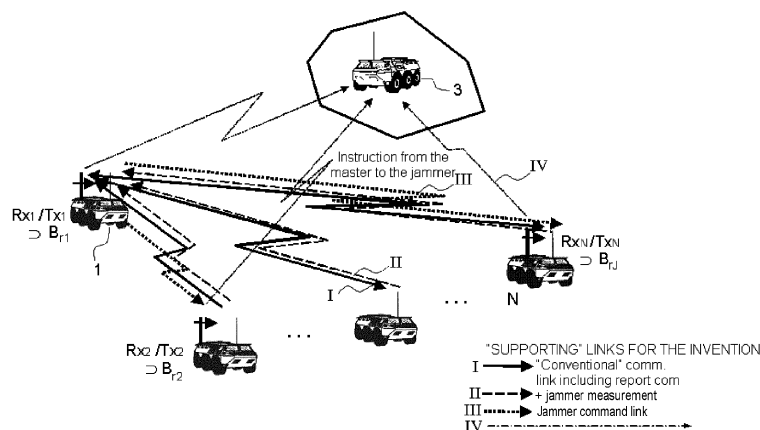


FIG.1

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de brouillage sélectif, dynamique et adaptatif des radiocommunications tierces externes à un réseau de radiocommunication à protéger, qui optimise l'efficacité du brouillage et qui limite au moyen d'un contrôle en boucle fermée les effets fratricides sur les émetteurs/récepteurs de télécommunication à préserver. L'invention concerne un procédé orienté MIMO de brouillage dynamique des communications tierces n'utilisant que l'interface de radioélectrique et contrôlant en boucle fermée les effets fratricides sur un réseau à protéger. Le réseau de communication à protéger et le brouilleur ou le réseau et les brouilleurs sont traités comme un macro-réseau de type multiple entrée multiple sortie ou MIMO boucle fermée et gérés de façon conjointe en utilisant des voies de retour des récepteurs à protéger pour adapter les consignes de brouillage et les consignes d'émission.

[0002] Le procédé selon l'invention s'applique, par exemple, pour brouiller certains liens de communication choisis entre entités externes au réseau à préserver, présentes dans une certaine zone géographique, tout en maintenant les liens et services de communications disponibles, de qualité suffisante et contrôlée dans le réseau de communications à préserver.

[0003] L'utilisation conjointe par une même force de réseaux de transmissions et de brouilleurs (ou de réseaux de brouilleurs) sur un théâtre d'opération au sens large, et particulièrement dans les convois terrestres, dans les escadrilles d'aéronefs et dans les escadres de navires, est souvent très pénalisée par l'absence de contrôle précis des effets induits par le ou les brouilleurs sur le ou les postes de transmissions du ou des réseaux de la force.

[0004] Le problème technique à résoudre pour les réseaux de transmissions et les brouilleurs utilisés conjointement est de limiter les effets fratricides des brouilleurs sur les postes de transmission, tout en garantissant une efficacité a minima du brouillage sur les cibles ou sur les secteurs d'intérêt du théâtre.

Définitions :

[0005] Brouilleur : système d'émission capable d'émettre un signal destiné à empêcher le fonctionnement de tout ou partie des équipements utilisant le spectre électromagnétique (postes de transmission, radar ou systèmes de navigation présents sur le théâtre d'opération).

[0006] Réseau de brouilleurs : ensemble coordonné de système d'émissions capables d'émettre des signaux destinés à empêcher le fonctionnement de tout ou partie des équipements utilisant le spectre électromagnétique présents sur le théâtre d'opération.

[0007] Poste de transmission « ami » ou « poste ami » : poste de transmission défini comme faisant partie du système de communications à préserver et devant être protégé des effets du brouillage.

[0008] Réseau de transmission « ami » ou « réseau ami » : ensemble interconnectable de postes de transmission « amis ».

[0009] Emission amie : émission provenant d'un poste ami ou d'un brouilleur ami. Équipement « cible » : équipement défini comme devant être affecté par le brouillage.

[0010] Brouilleur communicant : brouilleur doté d'un poste de transmission « ami ». Réseau de Brouilleurs communicants : réseau de brouilleurs dotés de postes de transmission « amis », constituant un sous-réseau de transmissions amies.

[0011] Brouillage d'un équipement cible : Emission d'un signal ou de plusieurs signaux, depuis un brouilleur ou depuis un réseau de brouilleurs, de façon à ce que l'équipement cible se voit empêché de mettre en oeuvre ou de maintenir son service.

[0012] Brouillage d'une zone aéographique : Emission d'un signal ou de plusieurs signaux, depuis un brouilleur ou depuis un réseau de brouilleurs, de façon à ce que tout équipement cible présent sur la zone géographique se voit empêché de mettre en oeuvre ou de maintenir son service.

[0013] Détection d'un signal : capacité à décider de la présence d'une émission amie ou provenant d'une entité externe et à intercepter le signal. Cette détection est effectuée dans la bande et la durée d'analyse d'un ou plusieurs intercepteurs qui peuvent être, par exemple, hébergés par les postes de transmissions amis.

[0014] Détection d'un émetteur : capacité à décider de la présence d'un émetteur sur le théâtre par détection du ou des signaux qu'il émet.

[0015] Localisation d'un émetteur : capacité à décider du lieu d'un émetteur sur le théâtre par détection du signal ou des signaux qu'il émet.

[0016] SISO : entrée simple sortie simple : se dit d'un système d'émissions à une voie émettrice Tx, une voie réceptrice Rx.

[0017] SIMO : entrée simple sortie multiple : se dit d'un système d'émissions à une voie Tx, N voies Rx.

[0018] MISO : Multiple Input, Single Output : se dit d'un système d'émissions à M voies Tx, une voie Rx.

[0019] MIMO : Multiple Input, Multiple Output : se dit d'un système d'émissions à M voies Tx, N voies Rx.

[0020] Efficacité d'une zone : signifie le degré d'empêchement de l'établissement et/ou de maintien des communi-

tions tierces correspondant aux postes et aux infrastructures présents dans cette zone, i.e, empêchement dans la zone de toutes les communications autre que les communications protégées. Effets fratricides : degré d'empêchement de l'établissement et/ou du maintien des communications qui devraient être protégées, en raison des brouillages et interférences résiduels hors de la zone de brouillage efficace.

[0021] L'estimation des canaux de propagation correspond à estimer la réponse impulsionnelle du canal de propagation, soit les nombres, amplitudes et phases des différents trajets multiples de propagation, entre brouilleurs(s) et récepteur(s) protégé(s), ce qui permet d'adapter la puissance, le schéma et de modulation/codage spatio temporel au niveau du réseau du brouilleur ou du réseau de brouilleurs afin de minimiser, voir d'annuler l'impact sur le démodulateur/décodeur du ou des récepteur(s) protégé(s). Dans le même temps et en parallèle, la réponse impulsionnelle mesurée sur les émetteurs permet, comme dans un réseau MIMO, d'optimiser les liens de transmission protégés par adaptation des schémas de modulation/codage des émetteurs et récepteurs protégés.

[0022] Le domaine du brouillage a fait l'objet de nombreux travaux et inventions. Toutefois, les effets fratricides sont toujours assez mal traités dans les développements connus à ce jour. En général, les contraintes associées à la mise en oeuvre des procédés et systèmes connus du Demandeur ont notamment pour effet de limiter drastiquement les portées et le nombre de radiocommunications amies simultanées, voire même d'empêcher l'utilisation des radiocommunications amies.

[0023] L'objet de la présente invention concerne, notamment, un procédé qui va permettre de limiter efficacement les effets fratricides avec une souplesse et une portée suffisante, pour permettre simultanément le brouillage des cibles ou zones à brouiller et le fonctionnement des communications entre postes amis dans un contexte opérationnel.

[0024] Le procédé et le système mis en oeuvre par la présente invention s'appuient notamment sur l'utilisation des éléments suivants :

- des brouilleurs programmables et dynamiquement configurables en termes de forme d'onde (enveloppe, modulation, amplitude, phase, etc.), de plan de fréquence (choix des bandes sous bandes et porteuses du signal de brouillage), de motif temporel d'émission (réurrence des émissions selon le temps, la fréquence, la forme d'onde, etc.) gérés par un organe de contrôle centralisé ou disséminé,
- des séquences de signaux numériques émis par les brouilleurs, spécifiquement destinés à permettre des mesures précises de canal de transmission, et des mesures de puissance de brouillage au niveau des postes amis,
- des séquences de signaux numériques émis par les émetteurs amis, spécifiquement destinés à permettre des mesures précises de canal de transmission, et des mesures de puissance de brouillage au niveau des postes amis,
- des communications entre réseaux de brouilleurs ou organe de gestion du réseau de brouilleurs, et réseau ami ou organe de contrôle du réseau ami, (voies retour, consignes aux brouilleurs, etc.),
- un organe de contrôle permettant l'élaboration de consignes d'émission pour les brouilleurs avec une boucle d'asservissement basée sur les mesures effectuées au niveau des intercepteurs sur les séquences de signaux et sur l'estimation des canaux de propagation.

[0025] L'invention peut être mise en oeuvre sur des postes amis quelconques à condition que :

- les émetteurs mettent en oeuvre des séquences de signaux telles que précisées ci-dessus,
- les récepteurs puissent réaliser les mesures sur les signaux de brouillage et délivrer l'ensemble des mesures (sur signaux émetteurs et signaux brouilleur), ou bien que les éléments antennaires du récepteur puissent être couplés à intercepteurs réalisant ces mesures.

[0026] La description qui suit des procédés et des systèmes mettant en oeuvre la présente invention s'appuie notamment sur :

- une description formelle des interactions entre postes émetteurs amis (notés en abrégé Tx) postes récepteurs amis (notés en abrégé Rx), brouilleurs (notés en abrégé Br) et entités externes à brouiller (notées en abrégé Ci), par des graphes et macro-graphes qui seront précisés dans la suite,
- sur un modèle général de propagation du canal de transmission, généralisé à la prise en compte des interactions effectives entre postes émetteurs et récepteurs amis (Tx Rx) (généralement intégrés ensemble au sein d'un poste de transmission ami), brouilleurs (Br) et entités externes (Ci), au travers d'une notion de matrice canal généralisée précisée dans la suite,
- sur la mise en forme puis la résolution d'un problème d'optimisation sous contraintes, précisé dans la suite.

[0027] L'objet de l'invention concerne un procédé pour optimiser le brouillage de P zones ou positions prédéfinies dans un réseau d'émetteurs, de brouilleurs et de récepteurs de communications comprenant plusieurs N_{pl} plateformes un nombre $M \leq N_{pl}$ desdites plateformes, étant équipées d'antennes et de systèmes d'émission de signaux de trans-

mission utiles, un nombre $N \leq N_{pl}$ desdites plateformes étant équipées d'antennes et de systèmes de réception de signaux de transmission utiles, un nombre $J \leq N_{pl}$ desdites plateformes gérées par une station maître étant équipées de systèmes et antennes de brouillage adaptés pour empêcher les transmissions entre des entités externes audit réseau, lesdites plateformes constituant un réseau inter-plateformes, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes suivantes :

- mesurer les signaux de communication utiles reçus par l'ensemble des N plateformes de réception, à partir de ces mesures, estimer les $M*N$ canaux de propagation utiles, et transmettre ces mesures à la station maître gérant les plateformes équipés des antennes de brouillage,
- mesurer l'ensemble des signaux de brouillage reçus par les N plateformes de réception, à partir de ces mesures estimer les $J*N$ canaux de propagation fratricide, et transmettre ces mesures à ladite station maître,
- à partir des mesures des signaux de communication et canaux de propagation utiles et des signaux et canaux de propagation de brouillage, calculer au niveau de la station maître des valeurs de consignes de brouillage tels que les signaux de brouillage, la récurrence des émissions, les fréquences porteuses des émissions, les avances/retards à l'émission par rapport à une référence de synchronisation, les puissances équivalentes rayonnées, les pondérations en amplitude et phase sur les réseaux antennaires en émission, garantissant une efficacité pour les P zones à brouiller correspondant aux entités externes au réseau, tout en minimisant les effets fratricides sur les N plateformes en réception,
- transmettre ces consignes aux J plateformes équipés d'antenne de brouillage,
- à partir des premières consignes calculées et appliquées, exploitant en continu les mesures des canaux de propagation fratricides en provenance des plates formes réceptrices, optimiser par itération le brouillage des zones à brouiller en maintenant un brouillage fratricide acceptable pour la qualité des transmissions utiles.

[0028] Le procédé utilise, par exemple, la mesure des canaux de propagation en provenance des N plateformes de réception, afin d'optimiser conjointement le brouillage et la qualité des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices en adaptant les niveaux de puissance d'émission, et/ou les schémas de codage spatio-temporels et/ou les protocoles de transmission dans le domaine temps-fréquence des brouilleurs et des émetteurs.

[0029] Selon une variante de réalisation on utilise comme station maître un des noeuds du réseau de transmission associé à un organe de calcul des consignes destinées aux brouilleurs.

[0030] Il utilise, par exemple, des brouilleurs programmables adaptés à prendre en compte dynamiquement des consignes d'émission, sur la puissance et/ou sur des paramètres temporels, la forme d'onde, codage spatio-temporels, la pondération amplitude phase.

[0031] Le procédé est utilisé, par exemple, dans des réseaux de transmission utilisant les protocoles MIMO, MISO, SIMO ou SISO avec voie retour des récepteurs vers les émetteurs.

[0032] Selon une autre variante de réalisation, le procédé est utilisé, dans un réseau radio où les récepteurs sont adaptés à mesurer des valeurs de canaux sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

[0033] Le procédé est utilisé, par exemple, dans un réseau radio où les postes de réception comportent des éléments antennaires couplés à un intercepteur réalisant les mesures de canal sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

[0034] D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront mieux à la lecture de la description donnée à titre illustratif et nullement limitatif annexée des figures qui représentent :

- La figure 1, un exemple d'architecture du système selon l'invention,
- La figure 2, un exemple formel de modèle de canal de propagation généralisé au cas MIMO, avec définitions et notations des grandeurs géométriques et physiques afférentes,
- Les figures 3A et 3B, une illustration des notions de graphe et de macrographe réseau, utilisées pour décrire les liens entre postes amis (Tx, Rx), les interactions entre brouilleurs (Br) et entités externes à brouiller,
- La figure 4, un produit logique entre graphe réseau et matrice canal, définissant une matrice de canal généralisée qui tient compte à la fois des liens ou interactions entre les acteurs, émetteurs récepteurs, brouilleurs, zones ou points à brouiller, et des canaux de propagation entre ces acteurs.

[0035] L'exemple qui suit est donné à titre illustratif et nullement limitatif pour un système comportant N_{pl} plateformes de transmission qui disposent de postes de communication MIMO, MISO, SIMO ou SISO (une seule antenne d'écoute).

[0036] La figure 1 schématise un exemple d'architecture de réseau de transmission dans lequel le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre. Une station maître 1 est en liaison par voie de communication hertzienne par exemple avec $N_{pl} - 1$ plateformes ou postes émetteur/récepteur amis, c'est-à-dire des postes équipés d'une partie émettrice Tx et d'une partie réceptrice Rx. Parmi ces N_{pl} plateformes, J plates-formes « brouilleur », $B_{r1}, \dots, B_{rJ}$, disposent d'une antenne de brouillage, de type Omnidirectionnelle, de type directive ou de type réseau. Les plateformes amies

(« brouilleurs » ou sans brouilleur) disposent donc d'un réseau de communications inter plateformes qui apparaît, si l'on considère l'ensemble des éléments antennaires, comme un macro-réseau. Sur la figure 1 on a aussi représenté une zone à brouiller 3 dans laquelle peuvent se trouver des équipements radio externes au réseau de postes amis. La station maître 1 reçoit des N postes $R_{x1} \dots R_{xN}$ les mesures signal commun et les mesures signal brouilleur. La station maître transmet les consignes de brouillage aux J brouilleurs $B_{r1}, \dots, B_{rJ}$.

[0037] Le réseau de transmission peut être constitué de plusieurs noeuds et il est possible d'utiliser comme station maître un des noeuds ou plateformes du réseau de transmission associé à un organe de calcul des consignes destinées aux brouilleurs.

[0038] Les liens de communication sont représentés de la manière suivante :

I : lien commun classique incluant l'ensemble des mesures effectuées sur les liens de communications ou en anglo-saxon « reporting » (mesures effectués par les intercepteurs sur les séquences de signaux émis par les émetteurs amis Tx, par exemple dans les postes Rx amis) retransmis par voie retour vers les postes Tx amis et/ou vers la station maître des brouilleurs,

II : lien comprenant le « reporting » des mesures sur signal brouilleur, i.e. l'ensemble des mesures effectuées sur les signaux brouilleurs (mesures effectués par les intercepteurs sur les séquences de signaux émis par les brouilleurs Br, par exemple dans les postes Rx amis) retransmis par voie retour vers la station maître des brouilleur et /ou vers les postes Tx amis,

III : lien de commande servant de support pour la diffusion et l'application des consignes de la station maître par les brouilleurs, et

IV : émission des signaux de brouillage vers la zone visée 3 et/ou vers les entités externes Ci au réseau amis.

[0039] Le procédé mis en oeuvre par l'invention repose notamment sur :

- les enregistrements/mesures des signaux de communication reçus par les intercepteurs, qui sont par exemple les postes amis,
- les enregistrements/mesures des signaux de brouillage interférant avec les postes amis.

[0040] Dans la suite de la description, les canaux sont déterminés comme étant constitués de l'ensemble des propagations hertziennes entre chacun des émetteurs (brouilleur ou émetteur de communication ami) et chacun des récepteurs de communication ami ou chacune des cibles ou zones à brouiller Ci (les zones à brouiller étant discrétisées sous formes de listes de points à brouiller).

[0041] La matrice de canal est la matrice des combinaisons des canaux de propagation hertzienne entre les émetteurs et les récepteurs (matrice de canal Tx Rx), entre les brouilleurs et les récepteurs (matrice de canal Br Rx) ou entre les brouilleurs et chacun des points à brouiller (matrice de canal Br, Ci). Ces matrices sont considérées dans une première approche globale entre les plateformes (et non pas entre les éléments antennaires) et la valeur $a_{i,j}$ d'un élément de la matrice canal décrit donc physiquement et globalement le canal Hertzien entre la plateforme i et la plateforme j. Dans le cas où un récepteur ami entre en jeu, la matrice est renseignée à partir des mesures effectuées sur les signaux utiles et brouilleurs. Dans le cas où une zone ou un point à brouiller entre en jeu, la matrice est renseignée à partir d'un modèle de propagation entre un brouilleur Br et une cible Ci. Toutes ces matrices sont ensuite considérées dans une deuxième approche entre chaque élément antenne d'émission (chaque plateforme peut être dotée de plusieurs antennes d'émission, par exemple antenne de brouillage et antenne de transmission, elles-mêmes constituées de réseaux d'éléments) et chaque élément antenne de réception (chaque plateforme peut être dotée de plusieurs antennes de réception, elles-mêmes constituées de réseaux d'éléments). Pour chacune des approches, le premier niveau de description de cette matrice est binaire $a_{i,j} = 1$ si la plateforme, respectivement l'antenne, j reçoit un signal de la plateforme (respectivement l'antenne) i, un niveau plus fin dans la seconde approche en particulier, correspond à considérer $a_{i,j}$ comme la réponse impulsionnelle du canal i,j, ce qui caractérise complètement un canal linéaire multiple entrée multiple sortie ou MIMO, multiple entrée sortie unique ou MISO, entrée unique multiple sortie ou SIMO, ou simple entrée simple sortie ou SISO. Cette réponse impulsionnelle peut être estimée d'après les mesures effectuées par les récepteurs Rx amis sur les séquences de signaux, ou d'après les modèles de propagation considérés entre Brouilleurs et cible ou zone à brouiller.

[0042] La connaissance des positions des stations est utile pour l'optimisation du fonctionnement du réseau de communication et nécessaire pour l'optimisation du brouillage. Un synchronisme ou une datation précise des mesures est aussi utile pour une meilleure optimisation globale. De même la connaissance précise des séquences de signaux contenues dans les signaux de brouillage ou de communication est nécessaire à la mesure des canaux de propagation par les récepteurs Rx amis et contribue à l'optimisation globale.

[0043] Les représentations en graphe présentent l'avantage d'offrir une représentation synthétique de l'ensemble des interactions entre les acteurs. Par exemple, il est possible de représenter les plateformes ou les antennes en mettant un arc entre deux plateformes ou antenne si le signal émis par l'un est reçu par l'autre, et donc si le canal a pu être mesuré.

Exemple donné pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention

[0044] On dispose de postes de communication « utiles » MIMO, MISO, SIMO, SISO sur des plates-formes en nombre N_{PI} , dont J plates-formes comportent des brouilleurs.

« Utiles »

[0045] On dispose donc de N_{pl} plates formes de communication. Chacune de ces plates formes est MIMO, MISO, SIMO ou SISO. On note $M_1, M_2, \dots, M_{N_{pl}}$, le nombre d'éléments antennaires en émission de chacune des ces plates formes. On note $N_1, N_2, \dots, N_{N_{pl}}$, le nombre d'éléments antennaires en réception de chacune des ces N plates formes.

[0046] Le réseau constitué des $\sum_{m=1 \dots N_{pl}} M_m$ éléments antennaires émetteurs Tx ou Br et des $\sum_{n=1 \dots N_{pl}} N_n$ éléments antennaires Rx apparaît comme un macro-réseau, a priori fortement lacunaire. L'ensemble des plateformes de communication constitue un réseau représenté par le graphe réseau de taille N_{pl} tel que défini plus haut et noté G_0 . Lorsque l'on considère l'ensemble des éléments antennaires, on lui préfère une représentation par le macrographe de taille $\sum_{m=1 \dots N_{pl}} M_m + \sum_{n=1 \dots N_{pl}} N_n$ tel que défini plus haut et noté G_0' .

[0047] La matrice de canal de ce macro réseau constitué de N_{pl} plateformes et $\sum_{m=1 \dots N_{pl}} M_m + \sum_{n=1 \dots N_{pl}} N_n$ éléments antennaires peut s'écrire formellement, comme il sera explicité ci-après ou comme on peut le voir sur les figures 3A, 3B, 4, sous la forme généralisée $H_0'(Tx, Rx) = G_0' \propto [H_0^{(A)}(Tx, Rx), H_0^{(R)}(Rx, Tx)]$. Elle est déterminée par la topologie du réseau (qui détermine G_0 et G_0') et les matrices de canal $H_0^{(A)}$ et $H_0^{(R)}$ propres à chaque lien $Tx_m \rightarrow Rx_n$. Les liens de communication $Tx_m \rightarrow Rx_n$ Station Maître comprennent les liens retours de messageries à faible débit destinées à transmettre les données sur les mesures de canal et sur les mesures de qualité des transmissions vers la station maître afin d'adapter et d'optimiser les consignes d'émission.

[0048] Dans le procédé mis en oeuvre, dit « en boucle fermée » les émetteurs, récepteurs et noeuds de communication du réseau ami gèrent à chaque instant t (échantillonnage t_k , $k = 1, 2, \dots$), les liens de communication et les paramétrages afférents (protocoles, débits, schémas de codage et modulation, le cas échéant, la pondération des réseaux d'antenne en émissions/réception, utilisation de relais, etc.), en s'adaptant à l'environnement radioélectrique et aux résidus de brouillage éventuels, mais sans être explicitement pilotés par l'organe de contrôle. C'est le brouillage lui-même qui est contrôlé via l'estimation et la minimisation des effets fratricides résiduels.

[0049] L'ensemble des réseaux antennaires des émetteurs $Tx_1, \dots, Tx_M$ ($M \leq N_{pl}$) et des récepteurs $Rx_1, \dots, Rx_N$ ($N \leq N_{pl}$) est donc formalisé comme un macro-réseau G_0' (défini par une matrice de taille $(\sum_{m=1 \dots M} M_m + \sum_{n=1 \dots N} N_n)^2$) dont les liens sont complètement décrits comme sur la figure 4 par une matrice de canal généralisée qui détermine le canal généralisé complet (ou « aller retour ») $H_0'(Tx, Rx, \tau)$. Ces matrices sont déterminées par la topologie du macro graphe réseau G' par les matrices de canal propres à chaque lien $Tx_m \rightarrow Rx_n$. La construction formelle de ces matrices est donnée à la figure 4, des exemples des figures 3A et 3B, et de la figure 2 illustrent la prise en compte du canal de propagation pour construire les matrices de canal propres à chaque lien $Tx_m \rightarrow Rx_n$. Pour le trajet $Tx_m \rightarrow Rx_n$, l'expression formelle des signaux utiles provenant des plates formes émettrices reçus au niveau des plates formes réceptrices est alors à chaque instant t :

$$X(t) = (H_0' * S)(t) \text{ i.e. } \begin{bmatrix} X_1(t) \\ \vdots \\ X_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_0'_{11} & \dots & H_0'_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_0'_{N1} & \dots & H_0'_{NM} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_M \end{bmatrix} (t)$$

où

- N est le nombre exact de plates formes réceptrices comportant une antenne de réception ($N \leq N_{pl}$),
- M est le nombre exact de plates formes émettrices comportant une antenne d'émission destinée aux transmissions utiles ($M \leq N_{pl}$),
- H_0' est la matrice généralisée de canal « émetteurs vers récepteurs »,
- $X_n(t)$ $n = 1, \dots, N$ est le vecteur des signaux utiles reçus sur le réseau des éléments d'antennes de la plate-forme réceptrice d'indice n ,
- $S_m(t)$ $m = 1, \dots, M$ est le vecteur des signaux émis sur le réseau des éléments d'antennes de la plate-forme émettrice d'indice m , de bande B ,

[0050] Sur la figure 2 est aussi représentée la géométrie de la propagation dans un axe X(est), Y(Nord).

[0051] Le lien entre l'élément d'indice m du réseau de plates-formes émettrices et l'élément d'indice n du réseau de plates-formes réceptrices est caractérisé par :

- 5 $S_m(t)$ précité,
- $X_{nm}(t)$, le vecteur contribution du signal S_m reçu sur l'élément n du réseau antennaire en réception,
- $X_n(t)$ précité,
- L_{mn} le nombre de trajets du canal de propagation,
- l'indice du l-ième multi-trajet,
- 10 $\alpha^{(m,n)}_l$ l'atténuation du trajet l par rapport aux pertes moyennes,
- $\gamma^{(m,n)}_l$, la direction d'arrivée moyenne du trajet l,
- $\tau^{(m,n)}_l$, le retard moyen du trajet l, les retards sont contenus dans un intervalle $[0, T^{(m,n)}]$ dépendant du canal urbain, montagneux, etc.
- $N^{(m,n)}$, est le nombre de sous-trajets associés au trajet l supposés indiscernables pour le signal de bande B donc
- 15 répartis dans un intervalle de durée $T^{(m,n)} < 1/B$
- n_l est l'indice du sous-trajet l,
- $\phi^{(m,n)}_{n_l,l}$ est la phase du sous-trajet d'indices l et n_l ,
- $\alpha^{(m,n)}_{n_l,l}$ est le niveau relatif du sous trajet d'indices l et n_l
- $\theta^{(m,n)}_{n_l,l}$ est la direction d'arrivée du sous-trajet d'indices l et n_l
- 20 $U_s(\theta^{(m,n)}_{n_l,l})$ est le vecteur directionnel correspondant au sous trajet d'indices l et n_l pour la source de signal s.

« Brouilleurs »

[0052] De plus J plates formes parmi les N_{pl} sont munies de « brouilleurs » adaptés à brouiller les communications des éléments externes au réseau ami, on les note $Br_1, \dots, Br_J$. L'ensemble des brouilleurs $Br_1, \dots, Br_J$ et des récepteurs et $Rx_1, \dots, Rx_N$ constitue un réseau de « brouillage » représenté par un graphe d'interférence noté GJ et soumis à un canal de propagation généralisé $HJ' = GJ' \& H_J(Br, Rx)$ défini selon le processus décrit à la figure 4, en considérant le nombre de plates-formes émettrice J, le nombre de plates formes réceptrices N et les $J \times N$ matrices de canal élémentaires associées.

[0053] L'ensemble des émetteurs utiles $Tx_1, \dots, Tx_M$, des brouilleurs $Br_1, \dots, Br_J$ et des récepteurs utiles $Rx_1, \dots, Rx_N$ constitue un réseau d'« interférences/brouillages » représenté par un graphe d'interférences noté GI, et soumis à un canal de propagation généralisé $HI' = GI' \& H_I(Br, Rx)$ défini selon le même processus qu'à la figure 4, en considérant le nombre de plates-formes émettrice M+J, le nombre de plates formes réceptrices N et les $(M+J) \times N$ matrices de canal élémentaires associées.

[0054] Chacun des brouilleurs Br_j , d'indice j, dispose d'un niveau de puissance équivalent rayonné en émission (PIRE) défini par un intervalle $[0, PIREMAX_j]$, auquel on associe pour la mise en oeuvre de l'invention :

- une consigne de niveau de puissance C_PIRE_j ,
- un signal de brouillage B_j ,
- 40 - une ou plusieurs durées de brouillage Tb_j avec les récurrences Rb_j et une avance ou un retard τ_j en émission du signal B_j par rapport à une consigne émanant de la station maître,
- un ou plusieurs intervalles de fréquence notés Fb_j de brouillage correspondant aux intervalles de brouillage,
- des pondérations en amplitude A_j et en phase ϕ_j ,
- le cas échéant une orientation d'antenne Ψ_j qui sera assimilée dans la suite comme une pondération spatiale induite
- 45 par la directivité d'antenne.

[0055] La station maître indique aux brouilleurs les niveaux de puissance PIREs, les signaux de brouillage, les durées des signaux de brouillage, les récurrences avec lesquelles apparaissent ces signaux, les retards, les fréquences, et les pondérations $A_j \phi_j \Psi_j$ à appliquer, via un lien de communication spécifique. Le réseau de communication ami permet

50 d'informer la station maître en temps réel (c'est à dire à chaque instant t ou à chaque échantillon temporel t_k) et de réaliser la gestion des brouilleurs sur les canaux de propagation Br - Rx (niveaux utiles reçus, interférences reçues, multi-trajets, etc.) et sur les effets fratricides induits par les signaux B_j $j = 1 \dots J$.

« Interférences Brouilleurs » :

[0056] Selon ce qui précède, l'ensemble des réseaux antennaires des brouilleurs $Br_1, \dots, Br_J$ et des réseaux antennaires de réception des plateformes réceptrices $Rx_1, \dots, Rx_N$ est formalisé par deux macro-réseaux d'interférences définis par :

- un macro-graphe « brouillage fratricide réseau » noté GJ' intégrant les émissions des seuls brouilleurs et la matrice de canal généralisée associée HJ' (figures 2, 3A, 3B).
- un macro-graphe « brouillage fratricide + interférences réseau » noté GI' intégrant les émetteurs utiles et les brouilleurs, et la matrice de canal généralisée associée HI' (figures 2 3A, 3B).

[0057] L'expression formelle J(t) des signaux interférents/brouilleurs reçus sur un réseau récepteur est alors la suivante à tout instant t :

en se restreignant aux signaux provenant des seuls brouilleurs Br:

$$J(t) = (HJ^{(A)} * B)(t) \text{ i.e. } \begin{bmatrix} J_1(t) \\ \vdots \\ J_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} HJ'_{11} & HJ'_{1J} \\ \vdots & \vdots \\ HJ'_{N1} & HJ'_{NJ} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_J \end{bmatrix} (t)$$

où

- N est le nombre exact de plates formes réceptrices comportant une antenne de réception ($N \leq N_{pl}$),
- J est le nombre exact de plates formes comportant une antenne de brouillage ($J \leq N_{pl}$),
- $HJ^{(A)}$ est la matrice généralisée de canal « brouilleurs vers récepteurs »,
- $J_n(t)$ $n = 1, \dots, N$ est le vecteur des signaux brouilleurs reçus sur le réseau des éléments d'antennes de la plate-forme réceptrice d'indice n,
- $B_j(t)$ $j = 1, \dots, J$ est le vecteur des signaux de brouillage émis sur le réseau des éléments d'antennes de la plate-forme d'indice j.

« Cibles et Brouilleurs » :

Réseau de brouilleurs :

[0058] L'ensemble des réseaux antennaires des brouilleurs $Br_1, \dots, Br_J$ et des points cibles $Ci_1, \dots, Ci_P$ est formalisé à l'instar de ce qui précède par un macro-réseau de brouillage défini par :

- un « macro-graphe réseau brouilleur » noté GB' et la matrice de canal généralisée HB' déterminés par la topologie des brouilleurs et des zones cibles (qui détermine GB')
- les modèles de matrices de canal propres à chaque « brouillage » de Br_j vers C_p qui déterminent HB' (cf. figures 2, 3A, 3B, 4).

[0059] L'expression formelle des signaux brouilleurs aux points cibles est alors à chaque instant t :

$$Z(t) = (HB' * B)(t) \text{ i.e. } \begin{bmatrix} Z_1(t) \\ \vdots \\ Z_P(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} HB'_{11} & HB'_{1J} \\ \vdots & \vdots \\ HB'_{P1} & HB'_{PJ} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_J \end{bmatrix} (t)$$

Réseau des émetteurs utiles + brouilleurs :

[0060] L'ensemble des contributions réseaux antennaires des émetteurs utiles $Tx_1, \dots, Tx_M$ aux brouillages des points cibles $Ci_1, \dots, Ci_P$; noté dans la suite $bi_1, \dots, bi_P$, peut aussi être pris en compte et formalisé par un macro-réseau de brouillage induit défini par un macro-graphe des « émetteurs utiles » noté Gbi' et la matrice de canal généralisée Hbi' déterminés par la topologie des émetteurs et des zones cibles (qui détermine Gbi') et les modèles de matrices de canal

propres à chaque « lien hertzien » de Tx_m vers Cip qui déterminent Hbi'.

[0061] L'expression formelle des signaux de brouillage devient alors à chaque instant t :

$$b_i(t) + Z(t) = \left(\begin{bmatrix} HB' & Hb' \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} S \\ B \end{pmatrix} \right)(t) \text{ i.e. } \begin{bmatrix} Z_1(t) \\ \vdots \\ Z_P(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Hbi'_{11} & \dots & Hbi'_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Hbi'_{N1} & \dots & Hbi'_{NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} HB'_{11} & \dots & HB'_{1J} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ HB'_{N1} & \dots & H'_{NJ} \end{bmatrix} * \begin{pmatrix} S_1 \\ \vdots \\ S_M \\ B_1 \\ \vdots \\ B_J \end{pmatrix}(t)$$

« Consigne d'optimisation Signaux Brouilleurs » :

[0062] De plus chacun des brouilleurs applique à chaque instant t une consigne notée Cons_j(t) correspondant à un ensemble paramètres définis dans un domaine de valeurs noté formellement Dom_{C_j}.

[0063] Dom_{C_j} est un ensemble défini par les paramétrages possibles des émissions de brouillage :

- une valeur PIRE_j à choisir dans un intervalle [PIREMIN_j, PIREMAX_j] (une contrainte PIREMIN_j > 0 est nécessaire pour éviter que la solution du problème d'optimisation ne converge systématiquement 0 à l'initialisation et/ou en phase transitoire),
- un signal de brouillage b_j dans un ensemble de signaux préprogrammé discret et fini,
- une ou plusieurs durées de brouillage Tb_j avec les récurrences Rb_j et une avance ou un retard en émission τ_j, toutes ces valeurs étant bornées par des valeurs limites Max_j Tb_j, Max_j Rb_j Max_j |τ_j| prédéfinies,
- un ou plusieurs intervalles de fréquence notés Fb_j bornées par des valeurs limites [Fb_{min}, Fb_{max}],
- des pondérations en amplitude relative A_j en phase φ_j et en directivité relative D_j bornées par des intervalles de valeurs limites, respectivement [√(PIREMIN_j), √(PIREMAX_j)] ; [0, 2π] et [0, 1].

[0064] En pratique, si l'on note b_j(t) la forme d'onde de brouillage émise par le brouilleur Br_j, le vecteur signal de brouillage est défini formellement par b_j(t) et par Cons_j(t) : l'ensemble des consignes appliquées à la forme d'onde de brouillage b_j(t).

[0065] On obtient en sortie un vecteur signal de brouillage B_j(t) de dimension notée M_{B_j} qui prend la forme suivante, similaire à la formulation générale d'un signal émis en sortie d'antenne :

En bande de base :

[0066]

$$B_j(t) = D_j(\psi_j, t) b_j(t - \tau_j) \cdot \begin{pmatrix} A_{j,1}(t) e^{j\varphi_{j,1}(t)} \\ \vdots \\ A_{j,M_{Brj}}(t) e^{j\varphi_{j,M_{Brj}}(t)} \end{pmatrix} = D_j(\psi_j, t) b_j(t - \tau_j) \cdot \vec{s}_{B_j}(t)$$

Sur porteuse fo :

[0067]

$$B_j(t) = \text{Re} \left\{ e^{2j\pi f_0 t} \cdot D_j(\psi_j, t) b_j(t - \tau_j) \cdot \begin{pmatrix} A_{j,1}(t) \cdot e^{j\varphi_{j,1}(t)} \\ \dots \\ A_{j,M_{Br_j}}(t) \cdot e^{j\varphi_{j,M_{Br_j}}(t)} \end{pmatrix} \right\} = \text{Re} \left\{ e^{2j\pi f_0 t} \cdot D_j(\psi_j, t) b_j(t - \tau_j) \cdot \bar{S}_{B_j}(t) \right\}$$

où :

- M_{Br_j} : est le nombre d'éléments antennaire du réseau servant à émettre le signal de brouillage depuis la plate forme j, chaque élément antennaire ayant la directivité $D_j(\psi_j, t)$ supposée identique pour simplifier l'écriture donné comme exemple non limitatif,
- $b_j(t - \tau_j)$ est la forme d'onde en bande de base du signal de brouillage émis par la plate forme j, retardée de τ_j , et supposé pour simplifier l'écriture identique sur tous les éléments du réseau d'émission, donné comme exemple non limitatif,
- $A_{j,m}(t)$, $\varphi_{j,m}(t)$ sont les pondérations en amplitude et phase du signal de brouillage sur l'élément m du réseau antennaire de la plate forme de brouillage j,
- S_{B_j} est le vecteur directeur du signal de brouillage émis par la plate forme j, formés par les pondérations en amplitude et phase $A_{j,m}(t)$ et $\varphi_{j,m}(t)$,
- f_0 est la fréquence porteuse du signal de brouillage après transposition.

[0068] Tous les paramètres autres que l'application d'un retard, le choix des fréquences ou des sous-bandes d'émission, et le choix de la forme d'onde, s'appliquent linéairement sur le signal de brouillage et correspondent à un domaine admissible convexe.

« Zone cible ou récepteur Cible »

[0069] Les J plates-formes $Br_1 \dots Br_J$ sont destinées à brouiller une ou plusieurs cibles ou zones caractérisées par une liste de positions $C_1 \dots C_p$ à brouiller. Ces positions sont d'abord géographiques, mais peuvent par extension être définies « au sens large » dans les domaines temps / fréquence / espace :

- dans le domaine temporel : la zone C_i peut correspondre à des slots temporels à brouiller indexés sur une trame pseudopériodique connue et/ou contrôlée par la station maître des brouilleurs,
- dans le domaine fréquentiel : la zone C_i peut correspondre à des sous-bandes de brouillage à brouiller soit de manière continue, soit de manière périodique (avec indexation sur une trame pseudopériodique) connue et/ou contrôlée par la station maître des brouilleurs,
- dans le domaine spatial : la zone C_i peut correspondre à la position d'une cible identifiée, à une zone géographique autour de cette position, à une focalisation vers cette position. Ceci permet de considérer une matrice de canal H_{BC} des brouilleurs vers les zones cibles (qui se réduit dans le cas d'une seule zone de brouillage à un vecteur ligne $1 \times J$), dont les valeurs par défaut peuvent être déterminées en fonction d'un modèle géométrique ou d'un modèle empirique d'atténuation moyenne isotrope dépendant de la distance ou de tout autre modèle paramétrique ou empirique (la zone cible n'informe pas a priori les brouilleurs de l'efficacité du brouillage... le réseau de brouilleur ne peut donc initier sa stratégie de brouillage que d'après un modèle, et seulement ensuite contrôler le cas échéant l'efficacité du brouillage - avec une technique connue sous l'acronyme anglo-saxon look-through par exemple).

[0070] On exploite les résultats de mesure des intercepteurs, réalisées par exemple dans les récepteurs amis, pour calculer des consignes au niveau d'une plate-forme maître gestionnaire des brouilleurs (contrôle/commande centralisé):

- les signaux utiles et les procédures de mesures et d'égalisation de ces signaux dans les intercepteurs, notamment sur des séquences de synchronisation ou des séquences pilotes, permettent d'estimer les $M \times N$ canaux de communications utiles,
- les signaux de brouillage intégrant eux aussi de séquences connues, des procédures de mesures et d'égalisation de ces signaux s'appliquent de la même façon sur ces signaux dans les intercepteurs.

[0071] Les résultats des mesures sont communiqués à l'organe de contrôle de la station maître.

[0072] Pour estimer les $J \times N$ canaux de brouillage sur les cibles C_i , la station maître extrapole la détermination du canal de propagation (obtenue au niveau des Rx amis) au canal de propagation $Br_j \rightarrow C_p$ (d'après des modèles com-

portementaux de canaux par exemple).

[0073] La station maître optimise la réception des communications utiles par des consignes d'amplitude et de phase envoyées aux brouilleurs qui permettent une minimisation des niveaux fratricides reçus au niveau des antennes de réception (consigne = minimisation du brouillage fratricide sous contrainte de Puissance moyenne Tx ou sous autre contrainte) tout en maintenant l'objectif de performances sur les cibles Ci.

[0074] Minimiser les effets fratricides sur les N plateformes de réception consiste d'une manière schématique à garantir des effets fratricides tolérables en même temps qu'un brouillage.

[0075] Garantir des effets fratricides tolérables revient à minimiser ou à garantir un niveau inférieur à une certaine limite de l'impact des signaux émanant des brouilleurs, sur le rapport signal à bruit + interférence + brouillage résiduels en sortie des démodulateurs/décodeurs à protéger, les limites de niveaux en question dépendent précisément de la forme d'onde et du schéma démodulation/codage et de la structure du réseau à protéger. Par exemple, un ordre de grandeur courant pour un tel seuil est un taux d'erreur binaire ou BER (Binary Error Rate) induit par les interférences et brouillages résiduels de 10^{-3} en sortie de démodulation, ce qui se traduit par un seuil sur le niveau de S/J en réception dépendant de la modulation (de l'ordre de 7 dB pour une modulation BPSK mono porteuse classique reçue à fort apport signal à bruit S/N).

[0076] Garantir un brouillage efficace revient à maximiser le niveau débrouillage ou à obtenir un niveau de brouillage supérieur à un seuil donné aux points de la zone à brouiller : les seuls min d'efficacité dépendent là encore de la robustesse des postes cibles que l'on cherche à brouiller, mais sauf cas très particulier (forme d'onde PN), générer un rapport J/S (brouillage sur signal) supérieur à 0 dB dans la bande du récepteur cible suffit à garantir l'efficacité du brouillage.

[0077] La station optimise sous les contraintes précédentes un codage Spatio-temporel dans le réseau de brouilleurs.

Variantes de mise en oeuvre

[0078]

1/ Nature des consignes et modes de brouillage :

- sectoriel
- puissance min/max/moyenne
- pattern spatio-temporel

2/ Dans une variante du procédé, des consignes peuvent également être élaborées et diffusées aux émetteurs amis.

3/ Nature des schémas Spatio-temporel mis en oeuvre dans les postes émetteurs amis :

- redondance spatiale simple entre voies Tx et redondance temporelle
- schéma ST robuste en Rx aux interférences externes (i.e. non Multi-Trajet)
- utilisation de l'une des antennes Tx pour le signal de brouillage sur chaque Tx MIMO et des autres antennes Tx pour la communication
- formation de "voies spatiale" de brouillage avec un sous-réseau en émission (lacunaire) de Tx MISO "hybrides" communication/brouilleurs.

4/ Nature des filtres Spatio-temporel mis en oeuvre dans les postes récepteurs amis

[0079] Différentes solutions de filtres Spatio-temporel peuvent être mises en oeuvre. Une liste, non exhaustive et non limitative, est donnée ci-dessous :

- Annulation Brouilleur
- SIMO par Formation de Voie (FV) ou par Filtrage Adapté Spatial (FAS)
- Filtre optimal en présence interférence(s) externe(s)
- Filtre réjecteur exploitant l'a priori F.O. brouilleur connu
- etc.

Optimisation au niveau de l'organe de contrôle de la station maître

[0080] Etant donnés la topologie des réseaux et les signaux utiles de transmissions $S_1, \dots, S_M$, on recherche à chaque instant $t = \dots, t_{k-1}, t_k, \dots$ un vecteur de consignes $\text{Cons} = (\text{Cons}_1, \dots, \text{Cons}_J)$ dans le domaine de définition « admissible » $\text{Dom_C}_1 \times \dots \times \text{Dom_C}_J$ induisant le vecteur de signal brouillage $B = (B_1, \dots, B_J)^T$ et vérifiant plusieurs contraintes telles

que celles explicitées ci-dessous.

(i) au moins une « contrainte BC » liées à l'efficacité attendue du brouillage, ce qui peut s'écrire d'après ce qui précède sous plusieurs formes, faisant apparaître l'une des fonctionnelles convexes suivantes :

- une contrainte de type BC1 portant sur le niveau maximal de brouillage moyen ou de « brouillage + résiduel utile » moyen sur les points cibles Cip

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{réalisant} \quad \text{Max}_{\substack{Cons_1, \dots, Cons_J \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}} \|Z\| = \text{Max}_{\substack{Cons_1, \dots, Cons_J \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}} \left[\frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P \left| \sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) \right|^2} \right] \\
 & \text{ou} \\
 & \text{réalisant} \quad \text{Max}_{\substack{Cons_1, \dots, Cons_J \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}} \|Z + b\|^2 = \text{Max}_{\substack{Cons_1, \dots, Cons_J \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}} \left[\frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P \left| \sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) \right|^2 + \sum_{p=1}^P \left| \sum_{m=1}^M (HO'_{pm} * S_m)(t) \right|^2} \right]
 \end{aligned}$$

et/ou

- une contrainte de type BC2 portant sur un seuil minimum pour le niveau moyen sur les points cibles Cip du signal brouillage ou « brouillage + résiduel utile »

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{t.q.} \quad \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P |Z_p|^2} = \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P \left| \sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) \right|^2} \geq \text{Seuil_moy_eff_BC} \\
 & \text{ou} \\
 & \text{t.q.} \quad \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P |Z_p + b_p|^2} = \frac{1}{P} \sqrt{\sum_{p=1}^P \left| \sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) \right|^2 + \sum_{p=1}^P \left| \sum_{m=1}^M (HO'_{pm} * S_m)(t) \right|^2} \geq \text{Seuil_moy_eff_BC}
 \end{aligned}$$

et/ou

- une contrainte de type BC3 portant sur un seuil minimum pour le niveau de signal brouillage ou le signal de « brouillage + résiduel utile » en chaque point cible Cip :

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{t.q.} \quad \text{Min}_{p=1, \dots, P} \|Z_p\| = \text{Min}_{p=1, \dots, P} \sqrt{\sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t)} \geq \text{Seuil_min_eff_BC} \\
 & \text{ou} \\
 & \text{t.q.} \quad \text{Min}_{p=1, \dots, P} \|Z_p + b_p\| = \text{Min}_{p=1, \dots, P} \sqrt{\sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) + \sum_{m=1}^M (HO'_{pm} * S_m)(t)} \geq \text{Seuil_min_eff_BC}
 \end{aligned}$$

etc.

(ii) au moins une « contrainte J liée à la réduction des interférences sur les récepteurs », ce qui peut s'écrire d'après ce qui précède sous plusieurs formes, telles que les suivantes, faisant apparaître des fonctionnelles convexes:

- une contrainte de type J1 portant sur la minimisation du niveau de signal fraticide moyen ou fraticide+interfèrent moyen les récepteurs Rx_n :

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{réalisant} \quad \underset{\substack{(Cons_1, \dots, Cons_J) \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}}{\text{Min}} \quad \left\| J \right\| = \underset{\substack{(Cons_1, \dots, Cons_J) \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}}{\text{Min}} \quad \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N \left| \sum_{j=1}^J (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \right] \\
 & \text{ou réalisant} \quad \underset{\substack{(Cons_1, \dots, Cons_J) \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}}{\text{Min}} \quad \left\| I \right\| = \underset{\substack{(Cons_1, \dots, Cons_J) \\ \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J})}}{\text{Min}} \quad \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N \left| \sum_{m=1}^M (HO'_{nm} * S_m)(t) \right|^2 + \sum_{j=1}^J \left| \sum_{n=1}^N (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \right]
 \end{aligned}$$

et/ou

- une contrainte de type J2 portant sur un seuillage maximal du niveau moyen signal fraticide ou fraticide+interfèrent sur chaque récepteur Rx_n :

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{t.q.} \quad \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N |J_n|^2} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N \left| \sum_{j=1}^J (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \leq \text{Seuil_moy_J_Rx} \\
 & \text{ou} \\
 & \text{t.q.} \quad \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N |I_n|^2} = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N \left| \sum_{m=1}^M (HO'_{nm} * S_m)(t) \right|^2 + \sum_{j=1}^J \left| \sum_{n=1}^N (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \leq \text{Seuil_moy_J_Rx}
 \end{aligned}$$

et/ou

- une contrainte de type J3 portant sur un seuillage maximal du niveau signal interfèrent sur chaque récepteur Rx_n :

$$\begin{aligned}
 & (Cons_1, \dots, Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times \dots \times Dom_{C_J}) \\
 & \text{t.q.} \quad \text{Max}_{n=1, \dots, N} \left\| J_n \right\| = \text{Max}_{n=1, \dots, N} \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{j=1}^J \left| (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \right] \leq \text{Seuil_max_J_Rx} \\
 & \text{ou} \\
 & \text{t.q.} \quad \text{Max}_{n=1, \dots, N} \left\| I_n \right\| = \text{Max}_{n=1, \dots, N} \left[\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{m=1}^M \left| (HO'_{nm} * S_m)(t) \right|^2 + \sum_{j=1}^J \left| (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right|^2} \right] \leq \text{Seuil_max_J_Rx}
 \end{aligned}$$

etc.

(iii) le cas échéant une Consigne MinJ liée à la minimisation de la puissance de brouillage émise, ce qui peut s'écrire d'après ce qui précède sous plusieurs formes, telles que les suivantes, faisant apparaître des fonctionnelles convexes :

- Une consigne de type MinJ1 : minimiser la puissance moyenne de brouillage au cours du temps t et sur les brouilleurs j

5

$$\left(\text{Cons}_1, \dots, \text{Cons}_J \right) \in \left(\text{Dom}_{C_1} \times \dots \times \text{Dom}_{C_J} \right)$$

$$\text{Min} \left\{ \sqrt{\frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \left\langle |B_j(t)|^2 \right\rangle_t} \right\}$$

10

et/ou

- une consigne de type MinJ2: minimiser le maximum de puissance moyennée dans le temps, émise par chaque brouilleur j

15

$$\left(\text{Cons}_1, \dots, \text{Cons}_J \right) \in \left(\text{Dom}_{C_1} \times \dots \times \text{Dom}_{C_J} \right)$$

$$\text{Min} \left\{ \text{Max}_j \left(\left\langle |B_j(t)|^2 \right\rangle_t \right) \right\}$$

20

et/ou

- une consigne de type MinJ3 : minimiser la puissance instantanée émise par chaque brouilleur j

25

$$\left(\text{Cons}_1, \dots, \text{Cons}_J \right) \in \left(\text{Dom}_{C_1} \times \dots \times \text{Dom}_{C_J} \right)$$

$$\text{Min} \left\{ \text{Max}_{j,t} \left(|B_j(t)|^2 \right) \right\}$$

30

etc.

35 Exemple 1 : brouillage de barrage coopératif

[0081] Cet exemple particulier de mise en oeuvre de l'invention s'applique à l'optimisation du brouillage de barrage tactique en présence de postes amis de communication à évocation de fréquence, procédé qui a fait l'objet du brevet du Demandeur sous le numéro EP 1303069.

40 **[0082]** On montre ci-après comment le procédé général de l'invention décrit précédemment se décline pour cette application particulière.

[0083] La station maître gère un brouilleur de barrage ou un réseau de brouilleurs de barrage capables d'interrompre sur consigne leurs émissions sur un slot temporel et sur un canal fréquentiel indiqué par une consigne.

45 **[0084]** P postes tactiques présents sur le théâtre sont à brouiller notés Cip, p = 1,..., P. Ces postes sont de positions connues ou non. Les services qu'ils utilisent et les points de fonctionnement correspondants sont supposés connus ainsi que leurs caractéristiques (seuils de brouillage/déni des différents services, marges de fonctionnement etc.).

[0085] N récepteurs tactiques à saut de fréquence amis sont à préserver, notés R_n n = 1,..., N.

[0086] Ces récepteurs sont de positions approximativement connues. Leur forme d'onde et leurs modes de fonctionnement sont de caractéristiques connues de la station maître des brouilleurs :

50

- La loi de saut de fréquence, et le cas échéant, les puissances d'émissions et formes d'ondes utilisées sont connues a priori, voire pilotées par un noeud de communication tactique.
- Le noeud de communication tactique informe la station maître des brouilleurs, stations qui connaît donc a priori :

55

- les risques d'interférences induites sur les récepteurs à préserver,
- les slots temporels et les canaux fréquentiels occupés à chaque instant par les paliers EVF.

[0087] En considérant une grille temps fréquence des émissions utiles définie par :

- l'ensemble des canaux fréquentiels (et des bandes associées) du plan de fréquence du réseau tactique, numérotés de F_1 à F_V ,
- la trame temporelle des émissions EVF est définie par le temps de garde, les fronts de montée et descente des paliers, la durée de palier, la période de récurrence, et un nombre T_S de slots où sont émis les paliers par période de récurrence.

[0088] On peut indexer le processus temporel sur la trame appliquer le procédé selon l'invention trame par trame. La k -ième trame sera notée t_k . Il s'agit alors pour la station maître et le(s) brouilleur(s) à chaque trame :

- de laisser vides de signal de brouillage les slots temps/fréquence sur lesquels sont émis et reçus les paliers EVF des communications utiles,
- d'émettre un signal de brouillage sur tous les autres slots temps/fréquences.

[0089] Les temps de propagation des signaux sur quelques dizaines de kilomètres au plus sont négligeables devant les durées des paliers utiles. De même les décalages Doppler sont négligeables devant les bandes des émissions utiles. Le problème physique se réduit donc à la détermination des instants de début des émissions et des canaux correspondants à ces émissions.

[0090] Le problème théorique d'optimisation à résoudre pour cet exemple précis de mise en oeuvre de l'invention est alors très simplifié :

[0091] Le domaine admissible est discret et défini par :

- l'ensemble des canaux fréquentiels F_1 à F_V ,
- l'ensemble des slots T_1 à T_S de la trame t_k ,
- deux valeurs de puissance émises par le(s) brouilleur(s) : 0 (non émission) ou P (émission).

[0092] A chaque trame t_k , chaque brouilleur se voit donc indiquer les slots (indexés par $1 < s_{1,k}, s_{2,k}, \dots, s_{k1,k} < S$) et les fréquences ((indexés par $1 < v_{1,k}, v_{2,k}, \dots, v_{k2,k} < S$)) à laisser vides de signal de brouillage (i.e. appliquer consigne $P = 0$).

Résolution déterministe directe du problème d'optimisation

[0093] Si le brouilleur est idéal et sait exactement placer ses « trous de brouillage » sur les slots utiles sans déborder sur les fréquences adjacentes ni sur les slots adjacents, le problème d'optimisation se résout directement car il n'y a aucun effet fratricide sur les postes utiles si la consigne suivante est parfaitement respectée : pour chaque trame t_k , appliquer au brouilleur la consigne de non-émission à chaque slot « utile » (s_{ksk}, v_{kvk})

Cas d'un brouilleur unique avec défaut + prise en compte de l'atténuation de propagation par utilisation de voies retour

[0094] Cet exemple de mise en oeuvre de l'invention s'étend directement à la prise en compte des imperfections des brouilleurs et de l'atténuation due à la propagation du brouilleur vers les utiles :

- Temps de descente et de montée du signal de brouillage induisant une durée minimale de brouillage t_{Br} supérieure à la durée slot, ce qui réduit d'autant l'efficacité du brouillage de barrage,
- Débordement du spectre du trou de brouillage sur les fréquences adjacentes, modélisé par une bande équivalente B_{Br} qui doit être supérieure à la bande du palier pour garantir l'absence d'effet fratricide, ce qui réduit d'autant l'efficacité du brouillage de barrage,
- Bilan de liaison entre le brouilleur et le récepteur utile R_n modélisés par un coefficient de perte L_n induisant un niveau en entrée $L_n P$. Ce niveau d'entrée peut être mesuré par les récepteurs utiles et indiqué au par voie retour au maître qui adapte en conséquence les consignes au brouilleur,
- Seuil de fonctionnement des récepteurs utiles pour $L_n P < \Delta$.

[0095] Le problème d'optimisation se résout là encore de manière très simplifiée car il n'y a aucun effet fratricide sur les postes utiles si la consigne suivante est parfaitement respectée : pour chaque trame t_k , appliquer au brouilleur la consigne de non-émission à chaque slot « utile » (s_{ksk}, v_{kvk}) pour lequel $L_n P < \Delta$.

Cas de plusieurs brouilleurs en réseau avec défauts + prise en compte de l'atténuation de propagation par utilisation de voies retour

[0096] L'exemple de mise en oeuvre de l'invention s'étend directement à la prise en compte de brouilleurs multiples

avec des imperfections et avec des atténuations dues aux conditions de propagation différenciées des brouilleurs vers les utiles

- Temps de descente et de montée du signal de brouillage induisant une durée minimale de brouillage t_{Br} supérieure à la durée slot, ce qui réduit d'autant l'efficacité du brouillage de barrage
- Débordement du spectre du trou de brouillage sur les fréquences adjacentes, modélisé par une bande équivalente BW_{Br} qui doit être supérieure à la bande du palier pour garantir l'absence d'effet fratricide, ce qui réduit d'autant l'efficacité du brouillage de barrage :
- Bilan de liaison entre le brouilleur B_j et le récepteur utile R_n modélisés par un coefficient de perte $L_{j,n}$ induisant un niveau en entrée $L_{j,n}P$. NB : ce niveau d'entrée peut être mesuré par les récepteurs utiles et indiqué par voie retour au maître qui adapte en conséquence les consignes au brouilleur
- Seuil de fonctionnement des récepteurs utiles pour $L_{j,n}P < \Delta$.

[0097] Le problème d'optimisation se résout là encore de manière très simplifiée car il n'y a aucun effet fratricide sur les postes utiles si la consigne suivante est parfaitement respectée :

Pour chaque brouilleur B_j ,
pour chaque trame t_k ,
appliquer au brouilleur la consigne de non-émission à chaque slot « utile » (s_{ksk}, v_{kvk}) pour lequel $L_{j,n}P < \Delta$.

Exemple 2 : brouillage GNSS

[0098] Cet exemple particulier de mise en oeuvre de l'invention s'applique à l'optimisation du brouillage GNSS multiservices, décrit dans la Demande de brevet FR09/05346 intitulée « procédé et système pour le brouillage des signaux GNSS ». On montre ci-après comment le procédé général de l'invention décrit précédemment se décline pour cette application particulière. On remarque que les signaux GNSS étant de nature essentiellement continue, il n'y a pas de dépendance au temps dans l'application du procédé dès lors que l'environnement reste stationnaire.

On considère :

[0099] un dispositif de brouillage fixe constitué de J brouilleurs B_j indexés par $j = 1, \dots, J$, de puissances maximales données. Les brouilleurs sont de positions et d'orientations connues. A chaque service GNSS supporté par un signal utile s, est associée une forme d'onde de brouillage dédiée (FOB) noté $B_{j,s}(t)$. Chaque brouilleur peut être paramétré pour émettre une ou plusieurs FOB avec des puissances moyennes respectives $C_{j,s} = \langle |B_{j,s}(t)|^2 \rangle_t$ différentes. Si ces formes d'ondes sont décorréllées, on a alors pour chaque brouilleur une puissance moyenne totale émise $C_j = \langle |B_j(t)|^2 \rangle_t$ qui s'écrit $j = 1, \dots, J$; $C_j = \sum_{s=1, \dots, S} C_{j,s}$

[0100] P récepteurs GNSS sont à brouiller notés C_p $p = 1, \dots, P$. Ces récepteurs sont de positions connues. Les services GNSS qu'ils utilisent sont supposés connus ainsi que leurs caractéristiques (seuils de brouillage/déni des différents services, marges de fonctionnement etc.).

[0101] N récepteurs GNSS à préserver, notés R_n $n = 1, \dots, N$. Ces récepteurs sont de positions connues et de caractéristiques connues. Dans ce sens, la station maître des brouilleurs est informée a priori des interférences induites sur les récepteurs à préserver comme s'il existait une voie retour.

un modèle d'interférence linéaire pour le service s de chaque récepteur n bien connu des gens du métier (et, afin de simplifier les notations, supposé dans la suite homogène pour chaque récepteur, ce qui n'induit aucune perte de généralité pour l'invention):

$$SINR_{n,j,s} = \frac{GR_s \cdot C_s / \eta_R}{N_{th} \cdot F_R + C_{j,s} \cdot GE_{j,n} \cdot L_{j,n} \cdot D_{n,i} \cdot SSC_{j,s}}$$

avec :

C_s : la puissance du signal utile devant l'antenne pour le service supporté par le signal s (dBm)
 GR_s : le gain procuré par le traitement et par l'antenne de réception ou le réseau antennaire de réception sur le signal utile (dBi)
 η_R : le rendement interne à la chaîne de réception (rendement antennes, pertes câbles, etc.)

$F_R.N_{th}$: le bruit thermique du récepteur tenant compte du facteur de bruit F_R de la chaîne de réception
 $GE_{j,n}$: le gain d'antenne du brouilleur j dans la direction du récepteur n (dBi), la Puissance Isotrope Rayonnée
 Equivalente correspondante s'écrit donc $PIRE_j = C_s GE_{j,n}$
 $D_{j,n}$: la directivité de l'antenne de réception n dans la direction du brouilleur j (dBi)
 $SSC_{j,s}$: le coefficient de corrélation spectral entre le signal brouilleur $B_j(t)$ et le signal utile $s(t)$ (à valeur entre 0 et 1)
 $C_{j,s}$: la puissance moyenne du signal émis par le brouilleur j pour le déni du service supporté par le signal s signal
 (dBm) (i.e. niveau de puissance alloué par le brouilleur j à la FOB dédié au service s) $C_{j,s} = \langle |B_{j,s}(t)|^2 \rangle_t$
 C_j : la puissance totale moyenne du signal émis par le brouilleur j (dBm) : $C_j = \langle |B_j(t)|^2 \rangle_t$
 $L_{j,n}$: la perte de propagation entre le brouilleur j et le récepteur n (dB).

[0102] Avec le formalisme précédent, le problème se modélise alors sous forme de consignes sur les brouilleurs B_j devant respecter les contraintes d'efficacité du brouillage sur les cibles C_p $p=1,...,P$, et les contraintes d'absence de déni fratricide sur les récepteurs R_n $n = 1,...,N$; tout en minimisant la puissance totale moyenne de brouillage :

$$\begin{aligned} & (Cons_1, ..., Cons_J) \in (Dom_{C_1} \times ... \times Dom_{C_J}) \\ & \text{t.q.} \\ & \min_{p=1,...,P} \left[\|Z_p\| \right] = \min_{p=1,...,P} \sqrt{\left\| \sum_{j=1}^J (HB'_{pj} * B_j)(t) \right\|^2} \geq \text{Seuil_min_eff_BC} \quad (\text{contrainte de type (BC3)}) \\ & \max_{n=1,...,N} \left[\|J_n\| \right] = \max_{n=1,...,N} \left[\frac{1}{N} \sqrt{\left\| \sum_{j=1}^J (HJ'_{nj} * B_j)(t) \right\|^2} \right] \leq \text{Seuil_max_J_Rx} \quad (\text{contrainte de type (J3)}) \\ & \min_{\{J_{k,s}\}} \left(\sum_{j=1}^J \sum_{s=1}^S C_{j,s} \right) \quad (\text{consigne de type (MinJ1)}) \end{aligned}$$

[0103] Les réponses impulsionnelles HB' et HJ' ne sont pas connues précisément mais les canaux associés peuvent être modélisés par une atténuation A estimée à partir des modèles de propagation

[0104] L'utilisation du modèle d'interférence multi sources et des diagrammes d'antennes permet en revanche d'explicitier de façon plus précise les contraintes d'efficacité et d'absence de déni fratricide :

Pour chaque récepteur $p=1,...,P$ à brouiller,
 pour chaque service $s_p = 1,...,S$ utilisé par le récepteur p :

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s_p=1}^S GE_{j,p} \cdot C_{j,s_p} \cdot L_{j,p} \cdot D_{j,p} \cdot SSC_{s_j,s_p} \geq \Delta'_{s_p} \quad \forall p = 1, ..., P \quad \text{et} \quad \forall s_p = 1, ..., S$$

où Δ'_{s_p} est le seuil de non fonctionnement garanti des récepteurs pour le service S_p

Pour chaque récepteur $n=P+1,...,P+N$ à préserver,
 pour chaque service $s_n = 1,...,S$ utilisé par le récepteur n :

$$\sum_{j=1}^J \sum_{s_n=1}^S GE_{j,n} \cdot C_{j,s_n} \cdot D_{j,n} \cdot L_{j,n} \cdot SSC_{s_j,s_n} \leq \Delta_{s_n} \quad \forall n = P+1, ..., P+N \quad \text{et} \quad \forall s_n = 1, ..., S$$

où Δ_{s_n} est le seuil de fonctionnement garanti des récepteurs pour le service S_n

Pour chaque brouilleur j :

$$\sum_{s=1}^S C_{j,s} \leq C_{j \max} \quad \forall j = 1, \dots, J$$

5 Etant donnés S services GNSS, J brouilleurs, N récepteurs protégés et P Récepteurs cibles, il y a N1+M1+J contraintes :

10 P1 contraintes de brouillage (P1 ≤ PxS)
N1 contraintes de non brouillage (N1 ≤ NxS)
J contraintes de puissance.

15 **[0105]** A l'aide des notations explicitées ci-dessous, le problème d'optimisation multiservices s'écrit sous la forme matricielle suivante :

$$\text{Max } C^t \cdot x$$

20 **[0106]** Sous les contraintes :

$$A \cdot x = b$$

$$x \geq 0$$

30 **[0107]** Notations :

[0108] C est défini par :

$$C = \begin{bmatrix} [-1] \\ [0] \end{bmatrix}$$

35 [-1] vecteur de composantes -1 de dimension JxS
[0] vecteur nul de dimension N1+M1+J

40
$$x = \begin{bmatrix} CJ \\ E \end{bmatrix}$$

x est défini par vecteur de dimension J.S + (N1+M1+J)
avec le rangement suivant : l=j,s : j=1, ..J et pour chaque j : s= 1,...,S

45

50

55

$$CJ = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{1,1} \\ \vdots \\ C_{1,S} \end{bmatrix} \\ \vdots \\ \begin{bmatrix} C_{J,1} \\ \vdots \\ C_{J,S} \end{bmatrix} \end{bmatrix} :$$

avec vecteur de dimension $J \times S$,

$$E = \begin{bmatrix} \vdots \\ e_n \\ \vdots \end{bmatrix}$$

avec vecteur de dimension $N1+M1+J$

où e_n est une variable libre représentant la marge de fonctionnement sur le récepteur n (différence entre le seuil de fonctionnement du récepteur et le niveau d'interférence global).

$$A = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} -A_a \\ A_b \\ Q \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} I_{N1} & 0 & 0 \\ 0 & I_{M1} & 0 \\ 0 & 0 & I_J \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

de dimension $(N1+M1+J) \times (J.S+N1+M1+J)$

I_{N1} matrice identité de taille $N1$

I_{M1} matrice identité de taille $M1$

I_J matrice identité de taille J

$$A_a = \begin{bmatrix} \vdots \\ \dots & \alpha_{p,l} & \dots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \alpha_{p,l} \cdot GE_{j,p} \cdot D_{j,p} \cdot SSC_{s,sp} \cdot L_{j,np} \quad (p=1, \dots, P.S ; l=(j,s)=1, \dots, J \times S)$$

$$A_\beta = \begin{bmatrix} \vdots \\ \dots & \beta_{n,l} & \dots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \beta_{n,l} \cdot GE_{j,n} \cdot D_{j,n} \cdot SSC_{s,sn} \cdot L_{j,n} \quad (n=P.S+1, \dots, (P+N).S ; l=(j,s)=1 \dots J \times S)$$

$$Q = \begin{bmatrix} \vdots \\ \dots & q_{n,k} & \dots \\ \vdots \end{bmatrix} \quad q_{n,k} = 1 \text{ pour } k=(n-1).S+1, \dots, n.S ; \quad q_{n,k} = 0$$

sinon

b est défini par

$$b = \begin{bmatrix} -D_{\alpha} \\ D_{\beta} \\ CJ_{\max} \end{bmatrix} \quad \text{vecteur de dimension } N1+M1+K$$

avec :

$$D_{\alpha} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta'_p \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \text{vecteur de dimension } N1, p= 1 \dots N1$$

$$D_{\beta} = \begin{bmatrix} \vdots \\ \Delta_n \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \text{vecteur de dimension } M1, n= N1+1 \dots (N1+M1)$$

$$CJ_{\max} = \begin{bmatrix} \vdots \\ CJ_{k_{\max}} \\ \vdots \end{bmatrix} \quad \text{vecteur de dimension } J$$

[0109] Le problème d'optimisation posé ci-dessus correspondant à la mise en oeuvre de l'invention sur cet exemple particulier est linéaire. La solution est alors obtenue par mise en oeuvre de l'algorithme du simplexe, bien connu de l'homme du métier, pour résoudre les problèmes de programmation linéaire : étant donné un ensemble d'inégalités linéaires sur n variables réelles, l'algorithme permet de trouver la solution optimale pour une fonction objectif elle aussi linéaire.

[0110] En termes géométriques, l'ensemble des inégalités linéaires définit un polytope dans l'espace à n dimensions.

[0111] La résolution par le simplexe permet de déterminer si le problème possède des solutions et lorsque c'est le cas (par exemple pour un polytope convexe), de déterminer un extremum, c'est à dire une solution de brouillage de puissance minimale.

Revendications

1. Procédé pour optimiser sélectivement et dynamiquement avec des effets fratricides réduits le brouillage de P zones ou positions prédéfinies dans un réseau d'émetteurs, de brouilleurs et de récepteurs de communications comprenant plusieurs N_{pl} plateformes un nombre $M \leq N_{pl}$ desdites plateformes étant équipées d'antennes et systèmes d'émission de signaux de transmission utiles, un nombre $N \leq N_{pl}$ desdites plateformes étant équipées d'antennes et de systèmes de réception de signaux de transmission utiles, un nombre $J \leq N_{pl}$ desdites plateformes gérées par une station maître (1) étant équipées de systèmes et antennes de brouillage adaptés pour empêcher les transmissions entre des entités externes audit réseau, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes suivantes :

- mesurer les signaux de communication utiles reçus par l'ensemble des N plateformes de réception, à partir de ces mesures, estimer les $M*N$ canaux de propagation utiles, et transmettre ces mesures à la station maître gérant les plateformes équipés des antennes de brouillage,
- mesurer l'ensemble des signaux de brouillage reçus par les N plateformes de réception, à partir de ces mesures estimer les $J*N$ canaux de propagation fratricides, et transmettre ces mesures à ladite station maître,

• à partir des mesures des signaux de communication et canaux de propagation utiles et des signaux et canaux de propagation de brouillage, calculer au niveau de la station maître des valeurs de consignes de brouillage, les signaux de brouillage, la récurrence des émissions, les fréquences porteuses des émissions, les avances/retards à l'émission par rapport à une référence de synchronisation, les puissances équivalentes rayonnées, les pondérations en amplitude et phase sur les réseaux antennaires en émission et sur les antennes de brouillage, garantissant une efficacité pour les P zones à brouiller correspondant aux entités externes au réseau, tout en minimisant les effets fratricides sur les N plateformes de réception,

• transmettre ces consignes aux J plateformes équipées d'antenne de brouillage,

• à partir des premières consignes calculées et appliquées, exploitant en continu les mesures des canaux de propagation fratricides en provenance des plateformes réceptrices, optimiser par itération le brouillage des zones à brouiller en maintenant un brouillage fratricide acceptable pour la qualité des transmissions utiles.

2. Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce qu'il** utilise la mesure des canaux de propagation en provenance des N plateformes de réception, afin d'optimiser conjointement le brouillage et la qualité des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices en adaptant les niveaux de puissance d'émission, et/ou les schémas de codage spatio-temporels et/ou les protocoles de transmission dans le domaine temps-fréquence des brouilleurs et des émetteurs.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'on utilise comme station maître une des plateformes du réseau de transmission associée à un organe de calcul des consignes destinées aux brouilleurs.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce qu'il** utilise des brouilleurs programmables adaptés à prendre en compte dynamiquement des consignes d'émission, sur la puissance et/ou sur des paramètres temporels, la forme d'onde, codage spatio-temporels, la pondération amplitude phase.
5. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 4 dans des réseaux de transmission utilisant les protocoles MIMO, MISO, SIMO ou SISO avec voie retour des récepteurs vers les émetteurs.
6. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 4 dans un réseau radio où les récepteurs sont adaptés à mesurer des valeurs de canaux sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.
7. Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 4 dans un réseau radio où les postes de réception comportent des éléments antennaires couplés à un intercepteur réalisant les mesures de canal sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

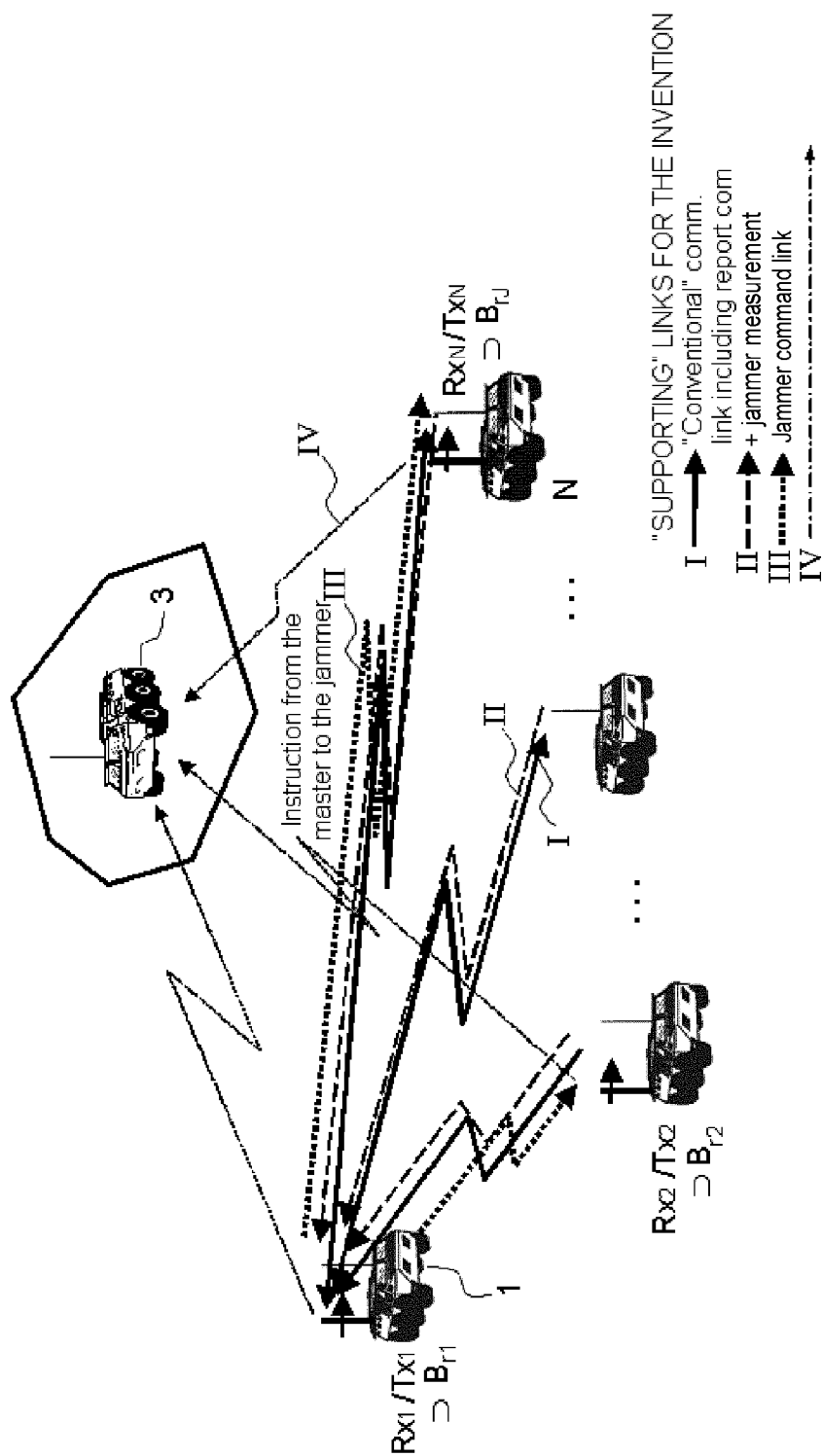


FIG.1

Transmission network Reception network Channel filtering matrix Spatial and convolutive mixing of the input S by the channel filter in order to produce the output X

$$s(\omega) = \begin{bmatrix} S_1(\omega) \\ S_M(\omega) \end{bmatrix} \quad x(\omega) = \begin{bmatrix} X_1(\omega) \\ X_N(\omega) \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} H_{11}(\omega) & H_{1M}(\omega) \\ H_{N1}(\omega) & H_{NM}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1(\omega) \\ S_M(\omega) \end{bmatrix}$$

Convolutive temporal mixing between elements n and m of the transmitting/receiving networks

$$X_{nm}(t) = (H_{nm} * S_m)(t) = \sum_{l=1}^L \alpha_l^{(m,n)} \left[\sum_{n_1=1}^{N_1} \alpha_{n_1}^{(m,n)} \exp \left[j \left((2\pi f / \lambda) \cos \theta_{(n_1,1)}^{(m,n)} \right) (t + \varphi_{(n_1,1)}^{(m,n)}) \right] U_s(\theta_{(n_1,1)}^{(m,n)}) \right] S_m(t - \tau_l^{(m,n)})$$

Convolutive spatio-temporal mixing between element n and transmitted signal vector $s(\omega) = \begin{bmatrix} S_1(\omega) \\ S_M(\omega) \end{bmatrix}$

$$X_n(t) = \sum_{m=1}^M X_{nm}(t) = \sum_{m=1}^M (H_{nm} * S_m)(t)$$

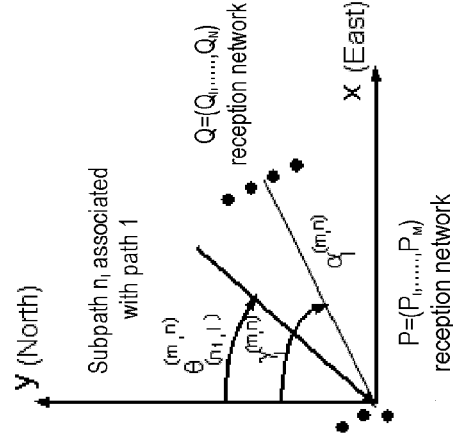
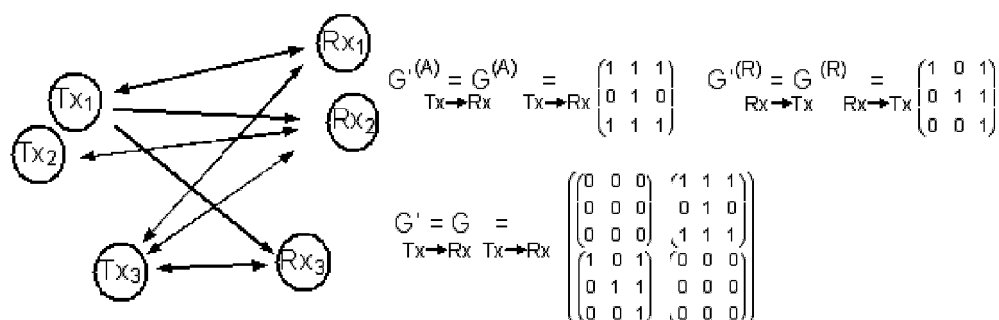
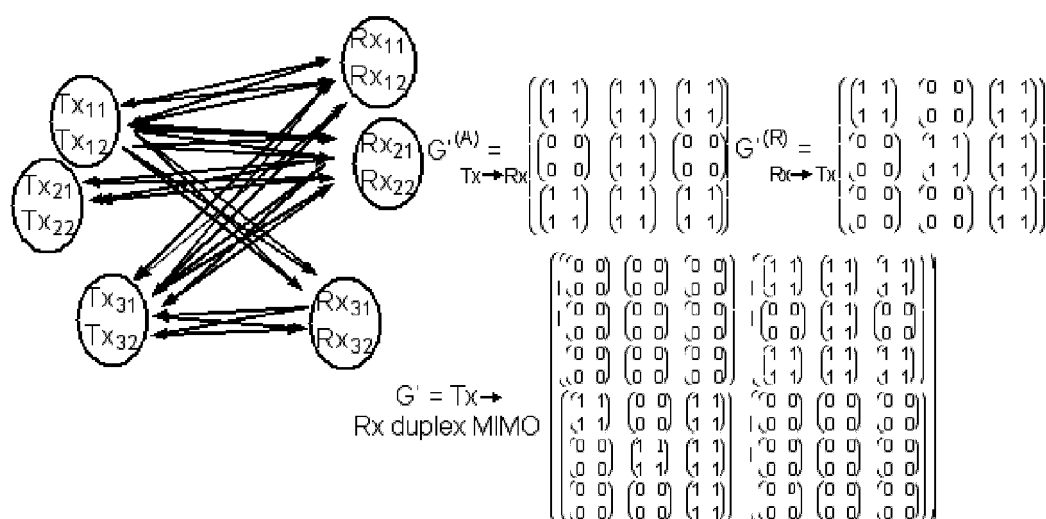


FIG.2

SET OF PLATFORMS TOWARDS SET OF PLATFORMS
DIRECTED NETWORK GRAPH AND GRAPH MATRIX G: SISO links G'=G



SAME TOPOLOGY WITH DIRECTED NETWORK MACROGRAPH
AND MACROGRAPH MATRIX G' 2x2 MIMO LINKS



SAME NETWORK TOPOLOGY WITH MIMO LINKS OF
IDENTICAL SIZE KxK' (TRANSMITTERSxRECEIVERS),

Tx→Rx sense: PROPAGATION MATRICES $G^{(A)}_{mn}$ $m=1...M$, $n=1...N$, size KxK'

Rx→Tx sense: PROPAGATION MATRICES $G^{(R)}_{mn}$ $m=1...M$, $n=1...N$, size K'xK

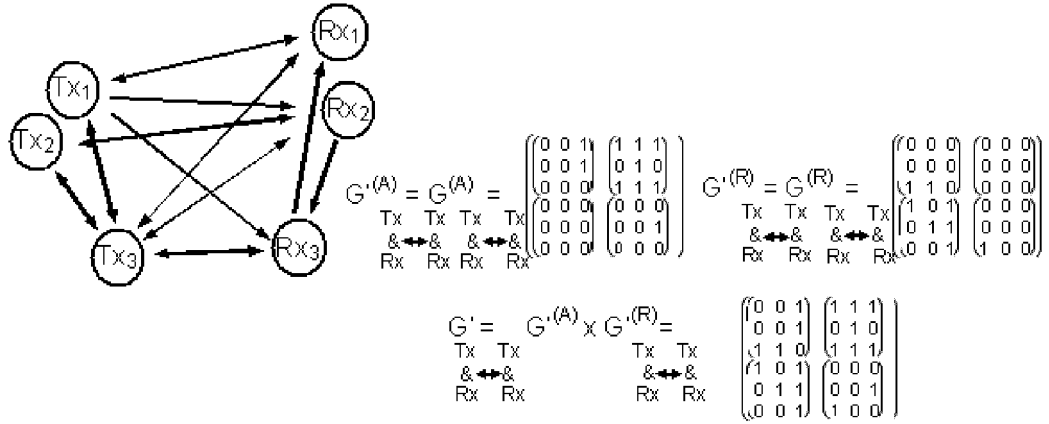
⇒ DETERMINES THE DIRECTED MACROGRAPH MATRIX G'

$G' \text{ MIMO Duplex}$
 $Tx_1, \dots, Tx_M \rightarrow Rx_1, \dots, Rx_N$
 $\sum_{m=1}^M K_m \text{ elts} \rightarrow \sum_{m=1}^M K'_m \text{ elts}$
 Simplified case $K_m = K_n = K$
 $K'_n = K'_m = K'$
 $MK_m \text{ elts} \rightarrow NK'_m \text{ elts}$

$G' = G_{Tx \rightarrow Rx} = \begin{pmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K \times K'} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K \times K'} \\ \dots \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K \times K'} \\ \begin{bmatrix} G^{(R)}_{11} & G^{(R)}_{12} & \dots & G^{(R)}_{1N} \\ G^{(R)}_{21} & G^{(R)}_{22} & \dots & G^{(R)}_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \begin{bmatrix} G^{(R)}_{M1} & G^{(R)}_{M2} & \dots & G^{(R)}_{MN} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K' \times K} \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K' \times K} \\ \dots \\ \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{K' \times K} \end{pmatrix}$

FIG.3A

ANOTHER EXAMPLE OF A DIRECTED NETWORK GRAPH WITH
GRAPH MATRIX G AND MACROGRAPH MATRIX G' (G'=G) SISO LINKS



SAME TOPOLOGY WITH DIRECTED NETWORK MACROGRAPH G'
AND MACROGRAPH MATRIX 2x2 MIMO LINKS

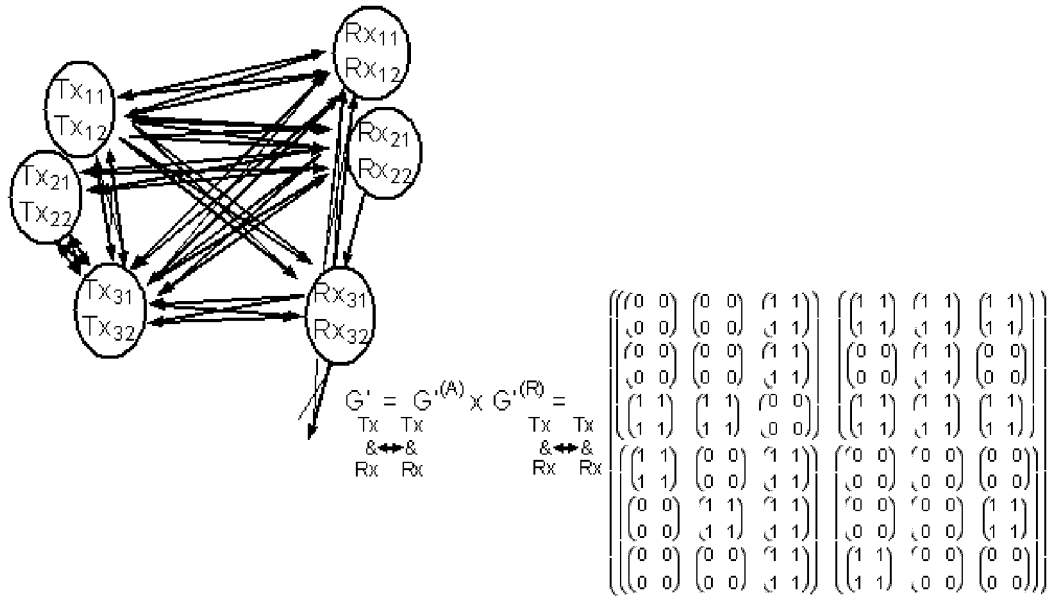


FIG.3B

DEFINITION OF THE TERM-TO-TERM LOGICAL PRODUCT, GENERAL CASE

A and B matrices of same size NxM.

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{1M} \\ & \\ A_{N1} & A_{NM} \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{1M} \\ & \\ B_{N1} & B_{NM} \end{pmatrix}$$

A and B: term-to-term product.
 Equivalent to the term-to-term logical product
 For network graphs

$$A \& B = \begin{pmatrix} A_{11}.B_{11} & A_{1M}.B_{1M} \\ & \\ A_{N1}.B_{N1} & A_{NM}.B_{NM} \end{pmatrix}$$

DEFINITION OF THE GENERALIZED CHANNEL MATRIX

Channel matrix $H(\tau)_{Tx_1, \dots, Tx_M \rightarrow Rx_1, \dots, Rx_N} = \begin{pmatrix} H_{11}(\tau) & H_{1M}(\tau) \\ & \\ H_{N1}(\tau) & H_{NM}(\tau) \end{pmatrix}$	Network (macro)graph $G'(\tau)_{Tx_1, \dots, Tx_M \rightarrow Rx_1, \dots, Rx_N} = \begin{pmatrix} G'_{11}(\tau) & G'_{1M}(\tau) \\ & \\ G'_{N1}(\tau) & G'_{NM}(\tau) \end{pmatrix}$
---	--

Generalized channel

$$H'(\tau)_{Tx_1, \dots, Tx_M \rightarrow Rx_1, \dots, Rx_N} = \begin{pmatrix} G'_{11}(\tau) \& H_{11}(\tau) & G'_{1M}(\tau) \& H_{1M}(\tau) \\ & \\ G'_{N1}(\tau) \& H_{N1}(\tau) & G'_{NM}(\tau) \& H_{NM}(\tau) \end{pmatrix} = [G'] \& [H'(\tau)]$$

FIG.4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 12 19 3882

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2004/009768 A1 (WATERS JOHN DERYK [US] ET AL WATERS JOHN DERYK [GB] ET AL) 15 janvier 2004 (2004-01-15) * abrégé * * alinéa [0001] - alinéa [0026] * * alinéa [0031] - alinéa [0039] * -----	1-7	INV. H04K3/00
Y	US 4 334 322 A (CLARK III EGBERT B) 8 juin 1982 (1982-06-08) * abrégé * * colonne 2, ligne 44 - colonne 8, ligne 22 * * figures 1-2 *	1-7	
Y	US 2008/239980 A1 (NICULESCU DRAGOS [US]) 2 octobre 2008 (2008-10-02) * abrégé * * alinéa [0010] - alinéa [0012] * * alinéa [0017] - alinéa [0044] * -----	1-7	
A	US 6 844 841 B1 (MASCIULLI MICHAEL [US]) 18 janvier 2005 (2005-01-18) * abrégé * * colonne 2, ligne 60 - colonne 5, ligne 15 * * colonne 5, ligne 45 - colonne 11, ligne 8 * * figures 1-3 * -----	1-7	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H04K H04B
1 Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 14 décembre 2012	Examineur Dujardin, Corinne
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 12 19 3882

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.

14-12-2012

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2004009768	A1	15-01-2004	GB 2388275 A	05-11-2003
			US 2004009768 A1	15-01-2004

US 4334322	A	08-06-1982	GB 2061671 A	13-05-1981
			US 4334322 A	08-06-1982

US 2008239980	A1	02-10-2008	AUCUN	

US 6844841	B1	18-01-2005	AUCUN	

EPO FORM P0460

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

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- EP 1303069 A [0081]
- FR 0905346 [0098]