



(11)

EP 2 747 328 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
25.06.2014 Bulletin 2014/26

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

(21) Numéro de dépôt: **13197344.8**

(22) Date de dépôt: **16.12.2013**

(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

(72) Inventeurs:
• **Delaveau, François**
92622 Gennevilliers Cedex (FR)
• **Heurguier, Dominique**
92622 Gennevilliers (FR)

(30) Priorité: **19.12.2012 FR 1203479**

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

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

(54) **Procédé de brouillage de communications dans un reseau controlé en boucle ouverte**

(57) 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 plateformes, le procédé utilise une situation de réception locale au niveau de chaque plateforme amie, une situation de brouillage locale au niveau de cha-

que plateforme amie de réception, et il détermine pour chaque plateforme émettrice amie et chaque plateforme réceptrice amie, un ou plusieurs paramètres afin de minimiser ou d'éliminer les effets fratricides sur les plateformes amies de réception.

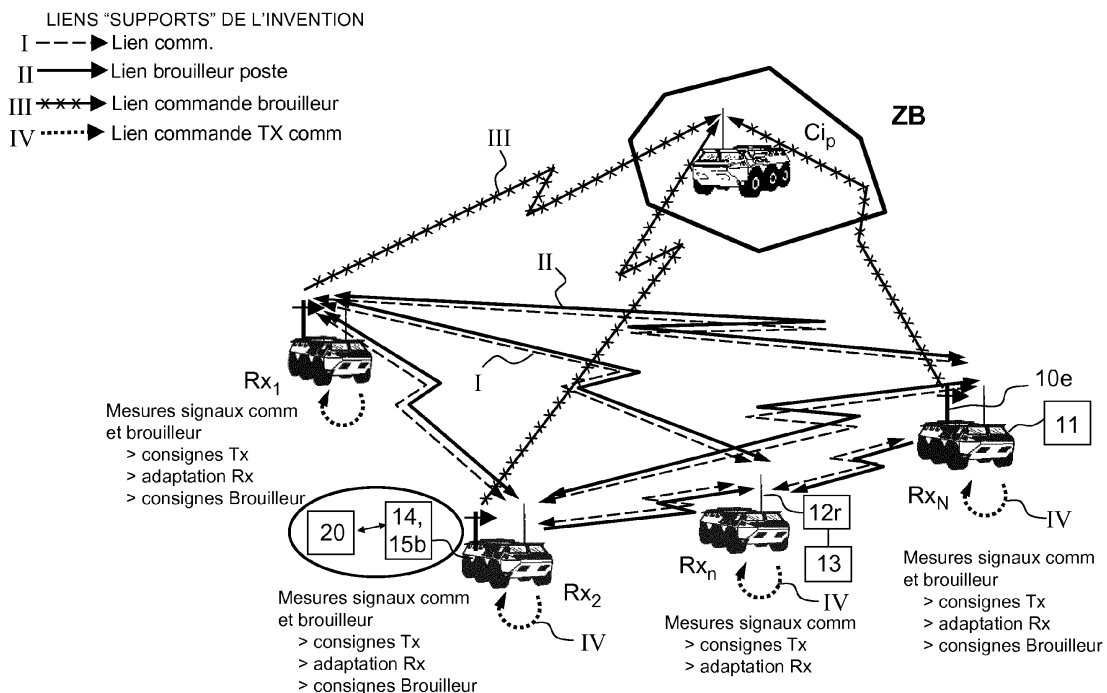


FIG.1

Description

[0001] L'invention concerne un procédé de brouillage avec optimisation de l'efficacité et limitation par contrôle en boucle ouverte des effets fratricides sur des postes de télécommunications associés à un réseau de communications à préserver.

[0002] Le procédé selon l'invention s'applique, par exemple, pour brouiller certains liens de communication choisis entre entités externes au réseau à préserver tout en conservant les liens de communications dans le réseau de communications.

[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 à minima du brouillage sur les cibles ou sur les secteurs d'intérêt du théâtre.

[0005] Un premier procédé d'optimisation décrit dans la demande de brevet du demandeur FR 11 03578 repose sur la mise en place d'un contrôle centralisé en boucle fermée. Ce procédé répond au problème en recourant à une station maître des brouilleurs, ce qui ne peut convenir à toutes les situations technico-opérationnelles. Il existe actuellement un besoin de disposer d'une méthode pour résoudre le problème technique en boucle ouverte, mettant en oeuvre des décisions décentralisées au niveau de chaque station émettrice et réceptrice.

Définitions :

[0006]

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). Un brouilleur est désigné dans la suite de la description par les lettres Br, le signal de brouillage par b, le vecteur signal de brouillage par B.

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

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.

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

Emission amie : émission provenant d'un poste ami ou d'un brouilleur ami.

Équipement « cible » : équipement défini comme devant être affecté par le brouillage.

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.

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.

Brouillage d'une zone géographique : 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.

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, module d'analyse ou fonction de détection ou « sensing » qui peuvent être, par exemple, hébergés par les postes de transmissions amis ou en connexion directe avec les postes amis.

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.

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.

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

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

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

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

CIR : Channel Impulse Response : se dit de la réponse impulsionnelle du canal de transmission, considéré comme un filtre à réponse finie.

Le terme matrice désigne une matrice de canal.

[0007] 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.

[0008] 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.

[0009] L'invention peut être mise en oeuvre sur des postes amis employant de multiples formes d'ondes à condition que :

- les brouilleurs suivent des plans de fréquence, motifs temporels et formes d'ondes connus des émetteurs/récepteurs amis, ou aisément reconnaissables à l'analyse in situ parmi un ensemble connu à l'avance,
- les émetteurs amis mettent en oeuvre des séquences de signaux détaillées dans la suite de la description,
- les récepteurs amis puissent réaliser les mesures sur les signaux de brouillage et les signaux amis pour élaborer une situation de brouillage locale et une situation de réception locale, et pour décider de la meilleure stratégie d'émission/réception pour les liens de communication en cours ou en cours d'établissement.

[0010] L'invention concerne un procédé pour minimiser de façon adaptative et décentralisée les effets fratricides induits par le brouillage de P zones ZB ou positions prédéfinies dans un réseau de communications comportant des émetteurs amis, des brouilleurs et des récepteurs amis, ledit réseau comprenant N_{pl} plateformes, un nombre $M \leq N_{pl}$ desdites plateformes, dites plateformes d'émission amies étant équipées d'antennes et de systèmes d'émission de signaux de transmission utiles configurables de manière dynamique, un nombre $N \leq N_{pl}$ desdites plateformes, dites aussi amies, étant équipées d'antennes et de systèmes dynamiquement configurables de réception de signaux de transmission utiles, un nombre $J \leq N_{pl}$ desdites plateformes étant équipées de systèmes et antennes de brouillage ayant des caractéristiques connues des plateformes d'émission et de réception amies, lesdits systèmes et antennes de brouillage étant adaptés pour empêcher les transmissions entre des entités externes audit réseau de plates formes amies, lesdites plateformes constituant un réseau, caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes suivantes :

- E_0 : Etablir une situation de réception locale : au niveau de chacune des N plateformes de réception amies mesurer, E_1 , les signaux de communication S_u amis reçus par lesdites plateformes en provenance des M émetteurs amis, à partir desdites mesures, pour chacune des N plates-formes de réception amies, estimer, E_2 , les M niveaux utiles reçus et les M canaux de propagation utiles, $N \cdot M$ estimées,
- E_3 : Etablir une situation de brouillage locale : au niveau de chacune des N plateformes amies de réception mesurer, E_4 , les signaux de brouillage reçus par lesdites plateformes de réception amies en provenance des J brouilleurs, à partir des mesures des signaux de brouillage, pour chacune des N plates-formes de réception amies, estimer, E_5 , les J niveaux de brouillage fratricides reçus et les J canaux de brouillage fratricides, $N \cdot J$ estimées en tout,
- connaissant a priori les formes d'ondes des signaux de brouillage et les paramétrages associés, à partir des états de la situations locale de brouillage établie par chacune des N plateformes réceptrices sur les J signaux provenant des J brouilleurs, à partir de la situation locale de réception établie par chacune des N plateformes réceptrices sur les signaux de communication utiles S_u , déterminer pour chacune des M plateformes émettrices amies et pour chacune des N plateformes réceptrices amies, au moins un des paramètres de configuration suivants : un plan de fréquence, et/ou des positionnements temporels des émissions, des diagrammes et/ou orientations d'antenne, des schémas d'accès radio et des schémas de modulation/codage des signaux émis et reçus, le ou les paramètres étant adaptés à minimiser ou éliminer les effets fratricides sur les N plateformes amis de réception,
- utiliser lesdits paramètres de configuration en émission et/ou réception pour les M plateformes d'émission amies et les N plateformes de réception amies.

[0011] Après avoir défini un premier ensemble de paramètres de configuration des M plateformes amies et des N plateformes amies, le procédé va réitérer les étapes E_0 à E_5 au cours du temps afin de maintenir et d'optimiser les paramètres de configuration des plateformes.

[0012] Le procédé utilise, par exemple, la mesure des canaux de propagation en provenance des J plateformes de brouillage, pour reconnaître in situ une stratégie de brouillage prédéfinie et connue afin d'optimiser conjointement l'émission et la qualité des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices et réceptrices amies en adaptant les

niveaux de puissance d'émission et/ou les plans de fréquence et/ou le positionnement temporel des émissions et/ou les schémas de codage spatio-temporels et/ou les protocoles d'accès à la ressource radioélectrique employés par les émetteurs et les récepteurs amis.

[0013] Le procédé peut utiliser des signaux de brouillage qui codent, de manière connue des récepteurs amis, les informations utiles aux émetteurs et récepteurs amis afin d'informer ceux-ci de la stratégie de brouillage employée, des caractéristiques des formes d'onde de brouillages et des paramètres associés, puissance d'émission, type de diagramme et orientation des antennes, position, altitude, pour faciliter l'optimisation conjointe des émissions et des traitements en réception des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices et réceptrices amies, lesdites informations codées étant reconstituées par l'analyse des signaux de brouillage reçus par les récepteurs amis ou décodées dans les signaux de brouillage reçus par les récepteurs amis.

[0014] Selon une variante de réalisation, le procédé utilise, par exemple, des émetteurs et des récepteurs amis programmables adaptés à prendre en compte dynamiquement des consignes d'émission, sur la puissance et/ou sur des paramètres temporels, la forme d'onde, les codage spatio-temporels, la pondération amplitude phase des éléments d'antenne.

[0015] Le procédé peut être utilisé dans des réseaux de transmission utilisant les protocoles MIMO, MISO, SIMO ou SISO avec ou sans voie retour des récepteurs amis vers les émetteurs amis.

[0016] Le procédé peut aussi être utilisé dans un réseau radio comprenant des récepteurs adaptés à mesurer des valeurs de canaux de transmission sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

[0017] Selon une autre variante, le procédé peut être utilisé dans un réseau radio comportant un ou plusieurs postes de réception comportant des éléments antennaires couplés à un intercepteur adapté à effectuer des mesures de canal de transmission sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

[0018] Le procédé est à décision décentralisée et propre à chaque lien émetteur ami récepteur ami. Il exploite notamment les capacités de mesures d'environnement à l'oeuvre dans les modems modernes (SISO, MISO, SIMO et MIMO selon les cas). Il exploite aussi la connaissance, a priori par les postes émetteurs récepteurs amis, des plans de fréquence, motifs et formes d'onde brouillage, ce qui les rend aisément reconnaissables par les postes amis avec une analyse a minima, déroulée en même temps que les mesures de CIR et que les procédés d'égalisation informés propres aux modems modernes. Par ailleurs, les plans de fréquence, motifs temporels et schémas de modulation codage propres aux liens amis peuvent être eux aussi prédéfinis à l'avance avec un jeu réduit de paramètres, et adaptés au fil de l'eau à la situation radioélectrique, selon l'occupation des canaux en fréquence, les motifs temporels et les formes d'onde de brouillage. Les besoins d'analyse dans les émetteurs/récepteurs amis sont alors réduits et la prise de décision sur l'adaptation des signaux de communication amis s'en trouve alors simplifiée.

[0019] 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, 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.

[0020] L'exemple qui suit est donné à titre illustratif et nullement limitatif pour un système de communication comportant N_{pl} plates-formes de transmission qui disposent de postes de communication MIMO, MISO, SIMO ou SISO.

[0021] La figure 1 schématise un exemple d'architecture de réseau dans lequel le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre.

[0022] Une ou plusieurs stations de réception $Rx_1, Rx_2, \dots, Rx_N$ sont en liaison point à point ou point à multipoints par voie de communication hertzienne par exemple avec $M=N_{pl} - 1 \leq N_{pl}$ plateformes ou postes émetteur/récepteur amis 10, c'est-à-dire des postes équipés d'une partie émettrice Tx et d'une partie réceptrice Rx. Les M plateformes amies sont équipées d'antennes 10e et de systèmes 11 dynamiquement configurables d'émission de signaux de transmission utiles.

[0023] Le réseau comprend un nombre $N \leq N_{pl}$ desdites plateformes, dites aussi amies, étant équipées d'antennes 12r et de systèmes 13 dynamiquement configurables de réception de signaux de transmission utiles.

[0024] Parmi ces N_{pl} plateformes, un nombre $J \leq N_{pl}$ plates-formes « brouilleur » $B_{r1}, \dots, B_{rJ}$ disposent de système 14 et d'une antenne de brouillage 15b, de type omnidirectionnel, de type directive ou de type réseau. Les caractéristiques d'émission des systèmes et antennes sont connues des plateformes amies. Les caractéristiques d'émission sont notamment choisies pour empêcher les transmissions entre des entités externes audit réseau de plates-formes amies,

lesdites plateformes constituant un réseau inter-plateformes

[0025] Les plateformes amies (brouilleurs ou sans brouilleur) définissent donc 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 ZB dans laquelle peuvent se trouver des équipements radio externes au réseau de postes amis. Chaque station de réception Rx_1 à Rx_N reçoit des M postes émetteurs $T_{x1} \dots T_{xM}$, des signaux de communication utiles amis. Une station effectue des mesures de niveau de signal reçu Nsr et de réponses impulsionnelles de canal. Chaque station reçoit aussi des brouilleurs $B_{r1}, \dots, B_{rJ}$, des signaux de brouillage Sb sur lesquels elle est informées (c'est à dire qu'elle en connaît a priori les principales caractéristiques) et peut aussi conduire des mesures de niveau de signal de brouillage reçu Nbr et de réponses impulsionnelles de canal.

[0026] Chaque station est équipée d'un dispositif adapté à gérer, à chaque instant, les liens de communication avec les autres stations, le dispositif étant par exemple un organe de décision 20 et de contrôle local décentralisé et propre à chaque lien émetteur/récepteur ami.

[0027] Les organes de décision correspondent, par exemple, à la couche d'accès MAC d'un terminal ou d'un poste maître. Un poste comporte un dispositif de traitement recevant les informations sur le signal ami, signal brouillage, les valeurs des canaux associés et qui est adapté à en déduire les valeurs des paramètres d'émission/réception qui permettent de ne pas perturber les liens entre amis.

[0028] Les liens de communication sont représentés sur la figure 1 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 postes amis ou par des intercepteurs amis au profit des postes amis sur les séquences de signaux émis par les émetteurs amis Tx ,) retransmis le cas échéant par voie retour vers les postes Tx amis,

II : lien comprenant le compte-rendu ou « reporting » des mesures sur signal brouilleur, i.e. l'ensemble des mesures effectuées sur les signaux brouilleurs (mesures effectués par les récepteurs amis ou par des intercepteurs au profit des postes récepteurs amis sur les séquences de signaux émis par les brouilleurs Br , informations retransmises le cas échéant par voie retour vers les postes Tx amis),

III : lien de commande des brouilleurs à partir des informations collectées par les récepteurs ou intercepteurs sur la plate forme du brouilleur (ou en liaison avec celle-ci) et de l'organe de décision local propres aux liens Tx amis Rx amis, et

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

[0029] Le procédé mis en oeuvre par l'invention repose notamment sur :

- les enregistrements/mesures des signaux de communication reçus par des intercepteurs, modules d'analyses et fonction d'appréhension de l'environnement (ou « sensing » en anglais) dédiés qui sont par exemple co-localisés ou intégrés avec au moins l'un des postes amis,
- les enregistrements/mesures des signaux de brouillage interférant avec les postes amis, par des intercepteurs, modules d'analyses et fonction de sensing dédiés qui sont par exemple co-localisés ou intégrés avec au moins l'un des postes amis,
- une description formelle des interactions entre postes émetteurs amis Tx , postes récepteurs amis Rx , brouilleurs Br et entités externes à brouiller 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 sur la résolution partielle d'un problème d'optimisation sous contraintes, précisé dans la suite,
- des brouilleurs programmables et dynamiquement configurables en terme de forme d'onde (enveloppe, modulation, amplitude, phase, etc.), pour lesquels sont connus les plans de fréquence (choix des bandes sous bandes et porteuses du signal de brouillage), les motifs temporels d'émission (récurrence des émissions selon le temps et la fréquence),
- de formes d'onde de brouillage, qui sont multiples et le cas échéant complexes, mais connues des récepteurs amis,
- des séquences de signaux numériques Sb émis par les brouilleurs, choisis et adaptés pour permettre des mesures précises en réception sur lesdits signaux de brouillages reçus par les postes ou stations du réseau,
- des séquences de signaux numériques Su émis par les émetteurs amis, choisis pour permettre des mesures précises en réception sur lesdits signaux amis reçus pas les postes ou stations du réseau,
- une élaboration de la situation de brouillage locale au niveau d'un poste, d'après les mesures de puissance de brouillage reçues sur les postes et des canaux de transmission associés ; l'élaboration est effectuée par les postes

amis, aidée par la connaissance a priori par les récepteurs amis des plans de fréquence, motifs temporels et formes d'ondes de brouillage possibles,

- une élaboration de la situation de réception locale au niveau d'une station, d'après les mesures précises de puissance utile reçue provenant des émetteurs amis et des canaux de transmission associées ; l'élaboration est effectuée par les postes amis, aidée par la connaissance a priori par les récepteurs amis des plans de fréquence, motifs temporels et formes d'ondes amies possibles,
- de plans de fréquence, motifs et récurrences d'émission, schémas de codage et de modulation spatio-temporels paramétrables des signaux numériques émis par les émetteurs amis, choisis et destinés à leur permettre d'adapter dynamiquement les liens de transmission à la situation de brouillage, à la fois par traitement d'antenne (conformations et orientations optimales des diagrammes d'antenne en émission et en réception) et par traitement temps fréquence (égalisation, modulation et codages et débits adaptatifs, etc.),
- des organes de décisions décentralisés, voire internes aux postes amis, permettant l'élaboration de consignes et des paramétrages adaptatifs en émission réception qui optimisent les liens entre postes amis, lesdites décisions étant basées sur l'élaboration des situations de brouillage locales et sur l'élaboration des situations de réception locales précitées.

[0030] 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 C_i (les zones à brouiller étant discrétisées sous formes de listes de points à brouiller).

[0031] 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, C_i). Ces matrices sont considérées dans une première approche globale entre les plateformes (et non pas entre les éléments antennaires présents sur chaque plate-forme) et la valeur $a_{m,n}$ d'un élément de la matrice canal décrit donc physiquement et globalement le canal Hertzien entre la plateforme m et la plateforme n . Dans le cas où un récepteur ami entre en jeu, la matrice est renseignée à partir des mesures effectuées sur les signaux utiles et sur les signaux brouilleurs. Dans le cas où une zone ou un point à brouiller C_i entre en jeu, la matrice est renseignée à partir d'un modèle de propagation entre un brouilleur Br et la cible C_i . 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 antennaires) et chaque élément antenne de réception (chaque plateforme peut être dotée de plusieurs antennes de réception, elles-mêmes constituées de réseaux d'éléments antennaires). Pour chacune des approches, le premier niveau de description de cette matrice est binaire $a_{m,n} = 1$ si la plateforme (respectivement l'antenne) n , reçoit un signal de la plateforme (respectivement l'antenne) m , un niveau plus fin dans la seconde approche en particulier, correspond à considérer $a_{m,n}$ comme la réponse impulsionnelle du canal m,n , (le cas échéant matricielle) 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 et brouilleurs, par des modèles de propagation considérés entre émetteurs ou brouilleurs et récepteurs, et d'après les modèles de propagation considérés entre Brouilleurs ou émetteurs et cible ou zone à brouiller.

[0032] La connaissance des positions des stations est utile pour l'optimisation du fonctionnement du réseau de communication et utilisée pour l'optimisation du brouillage. Un synchronisme ou une datation précise des mesures est aussi utile pour une meilleure optimisation globale.

[0033] La connaissance précise des séquences de signaux contenues dans les signaux de brouillage S_b et dans les signaux de communication utiles S_u est utilisée pour la mesure des niveaux de réception de signal et la mesure des canaux de propagation correspondants par les récepteurs Rx amis, et contribue à l'optimisation globale du procédé.

[0034] 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 antennes si le signal émis par l'une 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

[0035] 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.

« Réseaux d'émetteurs et récepteurs pour les transmissions utiles »

[0036] 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.

[0037] Le réseau constitué des $\sum_{M_{pl}} = \sum_{m=1}^{N_{pl}} M_m$ éléments antennaires émetteurs Tx ou Br et des $\sum_{N_{pl}} = \sum_{n=1}^{N_{pl}} N_n$ 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 macro-graphe de taille $\sum_{M_{pl}} + \sum_{N_{pl}}$ tel que défini plus haut et noté G_0' .

[0038] La matrice de canal de ce macro réseau constitué de N_{pl} plateformes et $\sum_{M_{pl}} + \sum_{N_{pl}}$ éléments antennaires peut s'écrire formellement, comme il sera explicité ci-après ou comme on peut le voir sur les figures 3A, 3B, 4, pour lesquelles une notation générique est utilisée, 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 $Tx_m \rightarrow Rx_n$.

[0039] Dans le procédé mis en oeuvre, dit « en boucle ouverte » selon l'invention, 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, en étant explicitement pilotés par un organe de décision et contrôle local, décentralisé et propre à chaque lien Tx-Rx ami. Les signaux et niveaux de brouillage eux-mêmes ne sont pas contrôlés à partir des émetteurs ou des récepteurs amis, mais fixés en fonction de critères d'efficacité indépendants et propres à la géométrie et aux cibles à brouiller. La situation radioélectrique et le niveau d'interférence dus aux brouillages sont mesurés par le récepteur ami sur chaque lien. Le plan de fréquence, le paramétrage spatio-temporel temporel de l'accès radio, les schémas de modulation et de codage, et les traitements en réception dans les postes amis sont définis par le contrôle local décentralisé au niveau de chaque poste pour optimiser le lien utile et pour minimiser les effets fratricides résiduels liés aux brouillages, et ce, en mettant à profit les techniques disponibles connues de l'Homme du métier sur les postes amis, le cas échéant, par exemple : transposition des communications utiles sur des porteuses vides et/ou peu brouillées dans le plan de fréquence, « positionnement temporel » ou « slottage » en anglais de la communication sur des intervalles de temps peu brouillés ou laissés vides par des formes de brouillage elles-mêmes « slottées » ou impulsives), formation de voie antibrouillée, techniques de réduction d'interférences et techniques de séparation et de démodulation conjointes pour des récepteurs amis disposant de réseaux antennaires et/ou exploitant des codages orthogonaux dans les signaux utiles émis, réduction de débit et/ou augmentation du pouvoir de correction des codages utilisés (au prix de l'efficacité spectrale, de la complexité du traitement de réception, de la consommation le cas échéant), etc.

[0040] 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 $(\sum_{M_{pl}} + \sum_{N_{pl}})^2$) dont les liens sont complètement décrits comme sur la figure 4 par une matrice de canal généralisée qui détermine le canal généralisé complet $H_0'(Tx, Rx, \tau)$. 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, les 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

de signaux 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 ,
- $S_m(t)$ $n = 1, \dots, M$ est le vecteur des signaux émis sur le réseau des éléments d'antennes de la plate-forme émettrice d'indice m , de bande B ,

[0041] Sur la figure 2 est aussi représenté un exemple de géométrie de la propagation dans un axe X (Est), Y (Nord). 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 :

$S_m(t)$ précité,

$X_{nm}(t)$, le vecteur contribution du signal S_m reçu sur l'élément n du réseau antenne en réception,

$X_n(t)$ précité, vecteur signal total reçu sur le capteur n du réseau,

L_{mn} le nombre de trajets du canal de propagation,

l l'indice du l -ième multi-trajet,

$\alpha^{(m,n)}_l$ 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 répartis dans un intervalle de durée $T^{(m,n)} \ll 1/B$

n_l est l'indice du sous-trajet l ,

$\varphi^{(m,n)}_{nl,l}$ est la phase du sous-trajet d'indices l et n_l ,

$\alpha^{(m,n)}_{nl,l}$ est le niveau relatif du sous trajet d'indices l et n_l

$\theta^{(m,n)}_{nl,l}$ est la direction d'arrivée du sous-trajet d'indices l et n_l

$U_s(\theta^{(m,n)}_{nl,l})$ est le vecteur directionnel correspondant au sous trajet d'indices l et n_l pour la source de signal s .

[0042] La distribution temporelle des trajets détermine son type de fading (plat ou sélectif selon que $T^{(m,n)} \leq 1/B$) et sa cohérence temporelle. La distribution temporelle des sous trajets détermine son type de fading (plat ou sélectif selon que $T^{(m,n)} \leq 1/B$) et sa cohérence temporelle. La distribution d'amplitude des trajets (respectivement sous trajets) détermine son type statistique (Rayleigh ou Rice).

[0043] La distribution angulaire des trajets (respectivement sous trajets) détermine sa cohérence angulaire (diffusion omni-directionnelle, cône diffusion).

« Paramétrages et puissances des signaux utiles selon le traitement en réception » :

[0044] $Data_m$ représente le signal utile à transmettre depuis l'émetteur Tx_m au récepteur Rx_n . S_m représente le signal ou un vecteur signal en sortie de l'émetteur Tx_m , par la transformation linéaire $S_m = \text{Codage}_m \cdot Data_m$ qui modélise en toute généralité un schéma de codage spatio-temporel en émission tel qu'employé en transmissions SISO, SIMO, MISO ou MIMO, l'opérateur Codage_m représentant le codage spatio-temporel appliqué par l'émetteur Tx_m au signal de données utiles $Data_m$ en entrée dudit émetteur. L'ensemble des valeurs possibles pour les schémas de codages, Codage_m , est noté Dom_Codage .

[0045] Dans tous les cas, l'opérateur spatio-temporel Codage_m peut être défini dans un espace vectoriel d'opérateurs linéaires opérant depuis un espace vectoriel de dimension finie (l'espace des signaux utiles échantillonnés de dimension spatiale finie pris sur un horizon temporel fini et) dans un espace vectoriel image de dimension finie (l'espace des signaux échantillonnés codés spatio-temporellement, lui aussi de dimension spatiale finie et d'horizon temporel fini), et Dom_Codage peut être pris comme la sphère unité dudit espace vectoriel.

La puissance du signal S_m est notée π_{S_m} .

Il est possible d'exprimer π_{S_m} sous la forme $\pi_{S_m} = S_m^H \cdot S_m$.

$X_{m,n} = H_{m,n}' \cdot S_m$ représente le signal ou le vecteur signal entrée d'un récepteur Rx_n après propagation dans le filtre $H_{m,n}$.

La puissance du signal X_{mn} est notée $\pi_{X_{mn}}$.

Il est possible d'exprimer $\pi_{X_{mn}}$ sous la forme $\pi_{X_{mn}} = X_{mn}^H \cdot X_{mn}$.

T_n représente l'ensemble des traitements et filtrages appliqués au signal d'entrée X_n pour produire le signal en sortie de traitement représenté formellement par $Y_{mn} = T_n(X_{m,n})$; T_n modélise en toute généralité un schéma de décodage spatio-temporel en réception tel qu'employé en transmissions SISO, SIMO, MISO ou MIMO.

L'ensemble des valeurs possibles pour les traitements en réception T_n est noté Dom_T .

[0046] Dans tous les cas, l'opérateur spatio-temporel T_n peut être défini dans un espace vectoriel d'opérateurs linéaire opérant depuis un espace vectoriel de dimension finie (l'espace des signaux échantillonnés en entrée d'antenne de

réception pris sur un horizon temporel fini) à valeur dans un espace vectoriel image de dimension finie (l'espace des signaux échantillonnés décodés spatio-temporellement), et Dom_T peut être pris comme la sphère unité dudit espace vectoriel.

La puissance du signal Y_{mn} est notée π_{Ymn}

Si T_n est purement linéaire, il est possible d'exprimer π_{Ymn} en fonction du codage Codagem appliqué, en fonction du canal $H'_{0m,n}$, et en fonction du traitement appliqué en réception T_n sous la forme

$$\begin{aligned} \pi_{Ymn}(\text{Codage}_m ; H'_{0m,n} ; T_n) &= Y_{mn}^H \cdot Y_{mn} \\ &= (T_n \cdot H'_{0m,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m)^H \cdot T_n \cdot H'_{0m,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m \\ &= X_{mn}^H \cdot T_n^H \cdot T_n \cdot X_{mn} \\ &= \text{Data}_m^H \cdot \text{Codage}_m^H \cdot H'_{0m,n} \cdot T_n^H \cdot T_n \cdot H'_{0m,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m \end{aligned}$$

[0047] Dans cette expression, seules des données transmises Data_m et le canal $H'_{0m,n}$ échappent au contrôle de l'organe de contrôle local, qui peut par contre contrôler Codage_m , et T_n dans les domaines des valeurs possibles Dom_Codage et Dom_T pour optimiser le lien utile $Tx_m Rx_n$.

[0048] Au niveau de chacune des N plateformes de réception amies, le procédé va établir, E_0 , une situation de réception locale en mesurant, E_1 , les signaux de communication Su amis reçus par lesdites plateformes en provenance des M émetteurs amis puis, à partir desdites mesures, en estimant, E_2 , pour chacune des N plates-formes de réception amies les M niveaux utiles reçus et les M canaux de propagation utiles ($N \cdot M$ estimées en tout).

[0049] Les signaux utiles et les procédures de mesures et d'égalisation de ces signaux dans les récepteurs, notamment sur des séquences de synchronisation ou sur des séquences pilotes, permettent d'estimer les $M \times N$ canaux de communications utiles.

« Réseau de brouilleurs et récepteurs »

[0050] 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 $H_J' = G_J' \cdot H_J(Br, Rx)$ défini selon le processus décrit à la figure 4, en considérant le nombre de plates-formes émettrices J, le nombre de plates formes réceptrices N et les $J \times N$ matrices de canaux élémentaires associées.

[0051] Chacun des brouilleurs Br_j , d'indice j, dispose d'un niveau de puissance équivalent rayonné en émission (PIRE) défini par un intervalle $[0, \text{PIREMAX}_j]$, fixé, et connu des récepteurs amis pour la mise en oeuvre de l'invention, avec :

- une consigne de niveau de puissance C_PIRE_j ,
- une forme d'onde de brouillage B_j , connue et mesurée in situ par les récepteurs amis
- 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 horloge commune, ces caractéristiques étant connues a priori et/ou reconnaissables in situ par les récepteurs amis lors de leurs processus de mesure,
- un ou plusieurs intervalles de fréquence notés Fb_j de brouillage correspondant aux intervalles de brouillage, connus a priori et/ou reconnaissables in situ par les récepteurs amis lors de leurs processus de mesure,
- des pondérations en amplitude A_j et en phase φ_j ,
- le cas échéant une orientation d'antenne ψ_j qui peut être assimilée dans la suite comme une pondération spatiale induite par la directivité d'antenne.

[0052] Des brouilleurs évolués peuvent être aussi utilisés afin de coder ou tagger dans leur forme d'onde de brouillage les niveaux de puissance PIREs, les formes d'ondes de brouillage, les durées des signaux de brouillage, les récurrences avec lesquelles apparaissent ces signaux de brouillage, les retards, les fréquences, et les pondérations $A_i \varphi_i \psi_i$ qu'ils appliquent pour en informer les récepteurs amis.

[0053] 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 G_J' intégrant les émissions des seuls brouilleurs et la matrice de canal généralisée associée H_J' (figures 2, 3A, 3B).

[0054] L'expression formelle $J(t)$ des signaux brouilleurs reçus sur un réseau récepteur est alors la suivante à tout instant t :

$$J(t) = (H_J^{(A)} * B)(t) \text{ i.e. } \begin{bmatrix} J_1(t) \\ \vdots \\ J_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{J11} & \dots & H_{J1J} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{JN1} & \dots & H_{JNJ} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} B_1 \\ \vdots \\ B_J \end{bmatrix} (t)$$

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 ($J \leq N_{pl}$),
- $H_J^{(A)}$ 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 .

« Paramétrages et puissances des signaux brouilleurs selon le traitement en réception » :

[0055] B_j représente le signal brouilleur en sortie de brouilleur Br_j .

$J_{jn} = H_{J,j,n} \cdot B_j$ représente le signal brouilleur pour une transmission depuis le brouilleur Br_j au récepteur Rx_n

La puissance du signal J_{jn} en entrée de traitement est notée π_{Jjn}

Il est possible d'exprimer π_{Jjn} sous la forme $\pi_{Jjn} = X_{mn}^H \cdot X_{mn}$.

Après passage dans le traitement en réception T_n propre au récepteur Rx_n , le signal de brouillage en entrée J_{jn} est transformé en un signal brouilleur en sortie $J'_{jn} = T_n(J_{jn})$.

La puissance du signal est notée $\pi_{J'jn}$. Il est possible d'exprimer $\pi_{J'jn}$ en fonction du traitement appliqué T_n sous la forme

$$\begin{aligned} \pi_{J'jn}(T_n ; H_{J,j,n}) &= J'_{jn}{}^H \cdot J'_{jn} = (T_n \cdot H_{J,j,n} \cdot B_j)^H \cdot (T_n \cdot H_{J,j,n} \cdot B_j) \\ &= J_{jn}{}^H \cdot T_n{}^H \cdot T_n \cdot J_{jn} = B_j{}^H \cdot H_{J,j,n}{}^H \cdot T_n{}^H \cdot T_n \cdot H_{J,j,n} \cdot B_j \end{aligned}$$

[0056] Dans cette expression, le canal $H_{J,j,n}$ et le signal de brouillage émis B_j échappent au contrôle de l'organe de contrôle local, qui peut par contre contrôler T_n dans le domaine des valeurs possibles Dom_T pour minimiser le niveau de brouillage en sortie et optimiser le lien utile $Tx_m Rx_n$. Le domaine Dom_T des valeurs possibles pour T_n dépend de la nature du traitement spatio-temporel appliqué.

« Zone cible ou récepteur Cible »

[0057] 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 $Ci_1 \dots Ci_P$ à brouiller. Ces positions sont d'abord des points géographiques, mais peuvent par extension être définies « au sens large » dans les domaines temps / fréquence / espace :

- dans le domaine temporel : la zone Ci peut correspondre à des slots temporels à brouiller indexés sur une trame pseudo-périodique connue et/ou contrôlée par la station maître des brouilleurs,
- dans le domaine fréquentiel : la zone Ci peut correspondre à des sous-bandes de brouillage à brouiller soit de manière continue, soit de manière périodique (avec indexation sur une trame pseudo-périodique) connue et/ou contrôlée par le ou les brouilleurs,
- dans le domaine spatial : la zone Ci 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).

[0058] Le signal de brouillage étant fixé et généré, des modules d'analyse ou de sensing dans les récepteurs amis ou des intercepteurs qui leur sont associés produisent des résultats de mesure sur les signaux brouilleurs en exploitant leur information a priori des formes d'ondes et modèle ou « pattern » de brouillage pour accélérer et fiabiliser leur procédure de mesure, de manière à optimiser leurs liens propres par adaptation de leur plans allocation de ressource spectrale et temporelle et de leur schéma de modulation codage. La prise de décision est locale et décentralisée au niveau de chaque lien utile, sans rétroactivité sur les paramétrages appliqués par les brouilleurs, ce qui induit une gestion simplifiée du réseau de brouilleur.

[0059] Au niveau de chacune des N plateformes amies de réception, E_3 , on établit une situation de brouillage locale en mesurant, E_4 , les signaux de brouillage reçus par lesdites plateformes de réception amies en provenance des J brouilleurs, à partir des mesures des signaux de brouillage, pour chacune des N plates-formes de réception amies, on estime, E_5 , les J niveaux de brouillage fratricides reçus et les J canaux de brouillage fratricides, $N \times J$ estimées en tout.

[0060] Les signaux de brouillage intégrant eux aussi des séquences connues, des procédures de mesures et d'égalisation de ces signaux s'appliquent de la même façon sur ces signaux dans les intercepteurs, modules d'analyse ou fonction sensing associées aux récepteurs amis.

[0061] Les résultats des mesures sont exploités par les récepteurs Rx des postes amis, éventuellement communiqués aux émetteursTx amis, si les liens disposent de voies retour, pour optimiser les liens utiles Tx amis / Rx amis.

[0062] Le réseau de brouilleurs et les paramétrages qui sont appliqués aux signaux de brouillage restent indépendants des consignes d'optimisations propres aux liens utiles.

[0063] Connaissant, a priori, les formes d'ondes des signaux de brouillage et les paramétrages associés, à partir des états de situations locales de brouillage établis par chaque plate-forme réceptrice sur les J signaux provenant des J brouilleurs, à partir des états de situations locales de réception établis par chaque plate-forme réceptrice sur les signaux de communication utiles, le procédé calcule, pour chacune des M plateformes émettrices amies et chacune des N plateformes réceptrice amies des plans de fréquence, des positionnements temporels pour les émissions, des diagrammes et/ou orientations d'antenne, des schémas d'accès radio et des schémas de modulation/codage des signaux émis et reçus éliminant ou tout au moins minimisant les effets fratricides sur les N plateformes amies de réception, On applique ensuite ces premiers plans de fréquence, ces positionnements temporels, ces diagrammes et/ou orientations d'antenne, ces schémas d'accès radio et ces schémas de modulation/codage sur les M plateformes amies en émission et sur les N plates-formes amies en réception, afin d'initialiser la réduction des effets fratricides du brouillage.

[0064] Selon un mode de réalisation, les plates formes réceptrices amies poursuivent de façon continue ou de façon récurrente l'évaluation des états locaux de situation de brouillage et des états locaux de situations de réception pour continuer le calcul des plans de fréquence et l'application de ces plans de fréquence, positionnements temporels des émissions, diagrammes et/ou orientations d'antenne, schémas d'accès radio et schémas de modulation/codage des signaux émis et reçus, de façon à maintenir et à optimiser, par itération de trame à trame, le débit utile du service de transmission, la puissance et la qualité des émissions et de la réception sur les plates-formes amies en maintenant ou en réduisant le risque de brouillage fratricide acceptable pour la qualité des transmissions utiles.

[0065] Différentes variantes de mise en oeuvre de l'invention peuvent être déclinées selon la nature des brouilleurs utilisés et le degré d'information des postes amis sur ces brouilleurs, et en enfin selon la capacité de traitement embarquée dans les postes amis.

1/ Le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre pour des paramètres et modes de brouillage suivant :

- 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/ Le procédé peut aussi être utilisé pour des schémas Spatio Temporels mis en oeuvre dans les postes émetteurs amis parmi les suivant:

- la redondance spatiale simple entre voies Tx et redondance temporelle entre les messages
- le schéma ST robuste en Rx aux interférences externes (i.e. non Multi-Trajet)
- l'utilisation de l'une des antennes Tx pour le signal de brouillage sur chaque Tx MIMO ou MISO et des autres antennes Tx pour la communication

- la formation de "voies spatiale" de brouillage avec un sous-réseau en émission (lacunaire)) de Tx MISO ou MIMO "hybrides" com/brouilleurs.

4/ Le procédé peut aussi être utilisé avec des postes récepteurs amis équipés de filtres Spatio Temporels choisi parmi la liste suivante, donnée à titre illustratif et nullement limitatif :

- Annulation Brouilleur
- SIMO par Formation de Voie (FV) ou par Filtrage Adapté Spatial (FAS)
- Filtre adapté spatio-temporel « optimal » en présence interférence(s) externe(s)
- Filtre réjecteur exploitant l'a-priori forme d'onde brouilleur connue
- Filtre réjecteur exploitant l'a-priori direction brouilleur connue (avec ou sans goniométrie préalable du brouilleur)
- etc.

[0066] Le processus d'optimisation des liens utiles fait intervenir certains critères liés à la réduction des brouillages fratricides et/ou à la maximisation du rapport entre la puissance du signal utile et la puissance du brouillage fratricide sur chaque récepteur Rx_n , ce qui peut s'écrire d'après ce qui précède sous plusieurs formes, telles que les suivantes, faisant apparaître des fonctionnelles convexes :

- des critères portant sur la minimisation du niveau de signal fratricide moyen ou fratricide+interfèrent moyen les récepteurs Rx_n en sortie de traitement T_n sur le récepteur Rx_n ,
- des critères portant sur la maximisation du rapport entre la puissance de signal utile en sortie de traitement et la puissance de signal de brouillage résiduel en sortie de traitement sur le récepteur Rx_n .

[0067] On donne ci dessous à titre illustratif et non limitatif quatre critères qui peuvent être appliqués, du moins complexe au plus complexe à mettre en oeuvre.

Critère de type Seuil max JR : pour chaque récepteur ami Rx_n , ce critère garantit un niveau de brouillage sur les signaux en sortie de traitement qui ne dépasse pas un seuil de brouillage donné ΔBr_n . Pour chaque récepteur ami Rx_n , le paramètre recherché est uniquement l'opérateur traitement en réception de Rx_n dans son domaine de valeur.

Pour tout $n = 1, \dots, N$, il s'agit donc de chercher un paramètre T_n dans le domaine Dom_T qui vérifie le critère de seuillage suivant sur la somme des contributions fratricides résiduelles des brouilleurs :

$$JR_n = \sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n} (H_{J'j,n} ; T_n) \leq \Delta Br_n$$

sachant que

$$\begin{aligned} \pi_{J'jn}(T_n ; H_{J'j,n}) &= \text{tr}[J'_{jn} \cdot J'_{jn}{}^H] \\ &= \text{tr}[T_n \cdot J_{jn} \cdot J_{jn}{}^H \cdot T_n{}^H] \\ &= \text{tr}[(T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j) \cdot (T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j){}^H]. \end{aligned}$$

et sachant que les paramètres $H_{J'j,n}$ et B_j ne sont pas contrôlés pour l'optimisation du critère mais connus par analyse et mesure et information a priori.

Critère de type Min JR : pour chaque récepteur ami Rx_n , ce critère vise à chercher un niveau de brouillage minimum sur les signaux en sortie de traitement. Pour chaque récepteur ami Rx_n , le paramètre optimisé est uniquement l'opérateur traitement en réception de Rx_n dans son domaine de valeur.

Pour tout $n = 1, \dots, N$; il s'agit donc de chercher le traitement en réception T_n qui minimise la somme des contributions fratricides résiduelles des brouilleurs

$$JR_n = \sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(T_n ; H_{J'j,n})$$

sachant que :

$$\begin{aligned} \pi_{J'j,n}(T_n ; H_{J'j,n}) &= \text{tr}[J'_{jn} \cdot J'_{jn}{}^H] \\ &= \text{tr}[T_n \cdot J_{jn} \cdot J_{jn}{}^H \cdot T_n{}^H] \\ &= \text{tr}[(T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j) \cdot (T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j){}^H] \end{aligned}$$

sachant que les paramètres $H_{J'j,n}$ et B_j ne sont pas contrôlés pour l'optimisation du critère mais seulement connus par mesure, analyse et information a priori,

Ceci s'écrit formellement pour chaque récepteur Rx_n :

$$\forall n = 1 \dots N, \quad T_n = \underset{t_n \in \text{Dom}_T}{\text{Arg min}} \{JR_n\} = \underset{t_n \in \text{Dom}_T}{\text{Arg min}} \left\{ \sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; t_n) \right\}$$

Réaliser ce critère revient à résoudre pour tout $n = 1, \dots, N$; un problème d'optimisation du critère

$\sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; t_n)$ quadratique sur la variable t_n , sous la contrainte $t_n \in \text{Dom}_T$.

Critère de type Seuil min SJR :

Pour chaque lien émetteur ami Tx_m - récepteur ami Rx_n , ce critère vise à garantir un rapport de puissance entre le signal utile en sortie de traitement et le signal de brouillage en sortie de traitement qui dépasse un seuil donné ΔSJR_n correspondant à une qualité de réception a priori. Pour chaque lien émetteur amis Tx_m , récepteur ami Rx_n , les paramètres recherchés sont ici

- la matrice de codage des données utiles à l'émission de Tx_m , soit le paramètre $\text{Codage}_m \in \text{Dom_Codage}$.
- l'opérateur traitement en réception de Rx_n , soit $T_n \in \text{Dom}_T$.

Pour tout lien ami Tx_m , Rx_n $m = 1, \dots, M$; $n = 1, \dots, N$; il s'agit donc de chercher des paramètres Codage_m et T_n dans les domaines respectifs Dom_Codage et Dom_T qui vérifient le critère de seuillage suivant sur le rapport signal utile à brouilleurs :

$$SJR_{m,n} = \frac{\pi_{Y_{mn}}(\text{Codage}_m ; H_{0'm,n} ; T_n)}{\sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; T_n)} \geq \Delta SJR_n$$

sachant que $\pi_{Y_{mn}}(\text{Codage}_m, H_{0'm,n}, T_n) = \text{tr}[Y_{mn} \cdot Y_{mn}{}^H] = \text{tr}[T_n \cdot X_{mn} \cdot X_{mn}{}^H \cdot T_n{}^H]$
 $= \text{tr}[T_n \cdot H_{0'm,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m \cdot (T_n \cdot H_{0'm,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m){}^H]$, sachant que le paramètre de canal $H_{0'm,n}$ n'est pas contrôlé pour l'optimisation du critère mais connu par analyse et mesure et information a priori,
sachant que les données utiles Data_m ne sont ni connues ni contrôlées.
sachant que

$$\begin{aligned}\pi_{J'jn}(T_n ; H_{J'j,n}) &= \text{tr}[J'_{jn} \cdot J'_{jn}{}^H] = \text{tr}[T_n \cdot J_{jn} \cdot J_{jn}{}^H \cdot T_n{}^H] \\ &= \text{tr}[(T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j) \cdot (T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j){}^H]\end{aligned}$$

5

sachant que les paramètres $H_{J'j,n}$ et B_j ne sont pas contrôlés pour l'optimisation du critère mais seulement connus par mesure, analyse et information a priori.

Critère de type Max SJR :

10 Pour chaque lien émetteur ami Tx_m - récepteur ami Rx_n , ce critère vise à garantir un rapport de puissance maximal entre le signal utile en sortie de traitement et le signal de brouillage en sortie de traitement correspondant à une qualité de réception a priori optimale pour l'ambiance radioélectrique environnant la transmission $Tx_n \leftrightarrow Rx_m$. Pour chaque lien émetteur amis Tx_m , récepteur ami Rx_n , les paramètres recherchés sont ici

- 15 - la matrice de codage des données utiles à l'émission de Tx_m , soit le paramètre $\text{Codage}_m \in \text{Dom_Codage}$.
- l'opérateur traitement en réception de Rx_n , soit $T_n \in \text{Dom_T}$.

Pour tout lien ami Tx_m , Rx_n $m=1, \dots, M$; $n=1, \dots, N$; il s'agit donc de chercher des paramètres Codage_m et T_n qui maximisent le rapport entre la puissance du signal utile en sortie de traitement la somme des contributions de brouillage fratricides résiduelles, soit qui maximisent le critère

20

$$\text{SJR}_{m,n} = \frac{\pi_{Ym,n}(\text{Codage}_m ; H_{0'm,n} ; T_n)}{\sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; T_n)}$$

25

30 sachant que $\pi_{Ymn}(\text{Codage}_m, H_{0'm,n}, T_n) = \text{tr}[Y_{mn} \cdot Y_{mn}{}^H] = \text{tr}[T_n \cdot X_{mn} \cdot X_{mn}{}^H \cdot T_n{}^H]$
 $= \text{tr}[T_n \cdot H_{0'm,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m \cdot (T_n \cdot H_{0'm,n} \cdot \text{Codage}_m \cdot \text{Data}_m){}^H]$, sachant que le paramètre de canal $H_{0'm,n}$ n'est pas contrôlé pour l'optimisation du critère mais connu par analyse et mesure et information a priori,
sachant que les données utiles Data_m ne sont ni connues ni contrôlées,
sachant que

35

$$\begin{aligned}\pi_{J'jn}(T_n ; H_{J'j,n}) &= \text{tr}[J'_{jn} \cdot J'_{jn}{}^H] = \text{tr}[T_n \cdot J_{jn} \cdot J_{jn}{}^H \cdot T_n{}^H] \\ &= \text{tr}[(T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j) \cdot (T_n \cdot H_{J'j,n} \cdot B_j){}^H]\end{aligned}$$

40

sachant que les paramètres $H_{J'j,n}$ et B_j ne sont pas contrôlés pour l'optimisation du critère mais seulement connus par mesure, analyse et information a priori.

Ceci s'écrit formellement

45

$$\forall m=1..M ; n=1..N, \quad T_n = \underset{\substack{t_n \in \text{Dom_T} \\ \text{cod_m} \in \text{Dom_Codages}}}{\text{ArgMax}} \left\{ \frac{\pi_{Ym,n}(\text{cod}_m ; H_{0'm,n} ; t_n)}{\sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; t_n)} \right\}$$

50

55 réaliser ce critère revient à résoudre pour tout $m=1, \dots, N$ et $n=1, \dots, N$ un problème d'optimisation du critère (quadratique

sur la variable codage cod_m)
$$\text{SJR}_{m,n} = \frac{\pi_{y_{m,n}}(\text{cod}_m ; H_{0'm,n} ; t_n)}{\sum_{j=1}^J \pi_{J'j,n}(H_{J'j,n} ; t_n)}$$
 pour les variables cod_m et t_n , et sous les contraintes $\text{cod}_m \in \text{Dom_Codage}$ et $t_n \in \text{Dom_T}$.

Exemple 1 : brouillage de barrage coopératif

[0068] 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.

[0069] On montre ci-après comment le procédé général de l'invention décrit précédemment se décline pour cette application particulière.

[0070] Le brouilleur de barrage ou le réseau de brouilleurs de barrage dispose de la capacité d'interrompre des émissions sur certains slots temporels et certains canaux fréquentiels, en suivant certaines lois pseudo aléatoires. Cette capacité est a priori connue des postes amis, ainsi que les principaux paramétrages possibles qui lui correspondent, en particulier les plans de fréquences et lois pseudo-aléatoires correspondants aux slots inoccupés par les signaux de brouillage.

[0071] P postes tactiques présents sur le théâtre sont à brouiller notés Cip, $p = 1, \dots, P$. Ces postes sont de positions connues ou non. Les services qu'ils utilisent et les points de fonctionnement correspondants sont supposés connus des brouilleurs ainsi que leurs caractéristiques (seuils de brouillage/déni des différents services, marges de fonctionnement etc.). Les brouilleurs adaptent les paramétrages de leur forme d'ondes de brouillage de barrage.

[0072] N émetteurs et récepteurs amis à saut de fréquence cherchent à préserver à préserver leurs liens de communication, notés R_n , $n = 1, \dots, N$. Ces émetteurs/récepteurs sont de positions approximativement connues et sous le contrôle de noeuds locaux de communications dénommés NLCs (dans une mise en oeuvre simplifiée de l'invention, les NLCs peuvent être par exemple les émetteurs amis de chaque lien utile, dans une mise en oeuvre plus élaborée, les NLCs peuvent être des composantes d'infrastructure à portée locale, des relais, des postes de transmission « maîtres » dédiés au commandement, etc.)

[0073] Les positions des brouilleurs, les positions des émetteurs et des récepteurs amis sous son contrôle et le panel des formes d'ondes utilisables et des paramétrages associés sont connus de chaque NLC, noeud contrôleur local. Par exemple, Les lois de saut de fréquence, et le cas échéant, les canaux slots et puissances d'émissions ainsi que les formes d'ondes utilisées peuvent être choisies par le NCL, voire pilotées au moyen d'un signal de synchronisation transmis vers les postes qu'il contrôle (postes esclaves). Par ailleurs, les NCLs disposent de fonctions de sensing de module d'analyse ou de capacités d'interception associées qui leur permettent de conduire des mesures à la fois sur les émetteurs/récepteurs dont ils connaissent les positions, sur les signaux utiles dont ils contrôlent/connaissent les émissions et sur les traitements en réception des postes esclaves, mais aussi sur les signaux brouilleurs qu'ils ne contrôlent pas mais dont ils connaissent les principales caractéristiques possibles qu'ils peuvent retrouver par mesure in situ. Chaque NLC peut donc d'après ses mesures et ses informations a priori sur les formes d'onde de brouillage et sur les postes sous son contrôle :

- évaluer les risques d'interférences induites par les signaux de brouillage sur les récepteurs qu'il contrôle (ou sur ceux qui sont à préserver).
- rechercher les slots temporels et les canaux fréquentiels inoccupés par les signaux de brouillage.
- piloter en conséquence les émissions des postes sous son contrôle de manière à faire coïncider leurs émissions avec les canaux fréquentiels et avec les slots temporels non-occupés par les signaux de brouillage.

[0074] On peut indexer trame par trame le processus d'application du procédé selon l'invention. La k-ième trame sera notée t_k . Il s'agit alors pour un noeud contrôleur local NLC à chaque trame :

- de piloter les émissions EVF des communications utiles, sur les créneaux temporels ou slots temps/fréquence laissés vide par les brouilleurs,
- de contrôler au cours du temps la position des émetteurs récepteurs des liens utiles pour garantir (en gérant certaines marges de puissance et certains intervalles temporels de garde) la non-collision des signaux utiles avec les signaux brouilleurs malgré les temps de propagation différents desdits signaux,
- dans le cas de postes mobiles à vitesse rapide, de contrôler au cours du temps le Doppler des émetteurs récepteurs

des liens utiles pour garantir (en gérant certaines marges de puissance et certains intervalles fréquentiels de garde) la non-collision des bandes des signaux utiles avec celles des signaux brouilleurs malgré les vitesses relatives différentes des émetteurs desdits signaux.

- 5 **[0075]** Dans de nombreux cas les temps de propagation des signaux de communication sol-sol sur quelques dizaines de kilomètres au plus sont négligeables devant les durées des paliers utiles. De même les décalages Doppler correspondant à des plates formes lentes sont négligeables devant les bandes des émissions utiles. Le problème physique se simplifie et se réduit donc à la détermination des instants de début des émissions et des canaux correspondants à ces émissions par le noeud local de communications (NLC). Dans des cas plus complexes de propagation à grande distance depuis des plates-formes mobiles (communication sur aéronefs et sur satellite défilants par exemple), le NLC doit en plus tenir compte des temps de propagation et Doppler relatifs).

Résolution déterministe directe du problème d'optimisation

- 15 **[0076]** Si le Noeud local de communication NLC est idéal, connaît ou sait restituer par sa mesure, les slots et les canaux fréquentiels laissés libres par les brouilleur(s) sur les trames présentes et futures et s'il connaît exactement les postes « esclaves » sous risque de brouillage et enfin s'il sait exactement placer les slots de ses postes « esclaves » sur les slots laissés libres par le(s) brouilleurs sans déborder sur les fréquences adjacentes ni sur les slots adjacents, le problème d'optimisation précédent se simplifie sous la forme d'un problème d'allocation de ressources. Il n'y a en effet aucun impact fratricide du brouillage sur les liens utiles dès lors que le NLC peut imposer la consigne suivante aux postes esclaves sous risque de brouillage : pour chaque trame t_k , répartir pour les liens sous brouillage les émissions et réceptions des signaux utiles sur les slots laissés libres par le brouilleur, attribuer pour cela les slots et canaux libres aux émetteurs et récepteurs esclaves selon une stratégie de gestion de priorité, selon une stratégie de gestion latence ou selon une stratégie concurrentielle aléatoire de type ALOHA, ou selon toute stratégie classiquement utilisée dans les technologies d'accès radio.

- 25 **[0077]** Notons que dans cette mise en oeuvre de l'invention, la connaissance précise des positions des postes esclaves et des brouilleurs par le noeud local de communication fournit matière à des optimisations plus poussées tout en restant très simples : par exemple la connaissance des positions directivités et orientations des antennes de brouillage et la connaissance de la position des postes esclaves permet au NLC de restituer par des modèles simples (bilan de liaison) les risques de brouillage de ses postes esclaves, et de ne sélectionner a priori que les postes esclaves qui sont effectivement sous menace de brouillage dans la stratégie d'allocation de ressource précitée. Les mesures effectuées par le NLC et remontées le cas échéant par les postes esclaves au NLC via les voies retour des liens amis ne servent qu'à conforter la stratégie d'allocation en confirmant l'absence de brouillages fratricides ou leurs faibles niveaux sur les slots alloués.

- 35 **[0078]** Si l'on pousse cette variante à l'extrême, il est même possible de considérer la mise en oeuvre de l'invention dans un cadre encore plus simplifié avec un NLC ne réalisant aucune mesure et simplement informé a priori des canaux et slots temporels laissés libres de brouillage ; ladite information provient par exemple d'une loi connue du brouilleur et du NLC décidée à l'avance, ou bien ladite information étant codée dans le signal de brouillage lui-même et décodée par le NLC dans son analyse du signal de brouillage, ou bien la dite information étant obtenue en décodant une information transmise dans un signal de taggage ou de déclenchement associé au brouilleur.

Cas de brouilleurs multiples avec défauts + prise en compte de bilans de brouillage estimés par utilisation des informations a priori des mesures et de modèles de propagation

- 45 **[0079]** Les exemples et variantes ci-dessus de mise en oeuvre de l'invention s'étendent directement à la prise en compte des imperfections d'un ou de plusieurs brouilleurs, des puissances et directivités en émission desdits brouilleurs, des directivités en réception des récepteurs amis, des atténuations et filtres de propagation des brouilleurs aux récepteurs amis, ainsi que des seuils de fonctionnement des récepteurs amis :

- 50 - Temps de descente et de montée du signal de brouillage induisant une durée de disponibilité du slot inférieure à la durée slot, ce qui réduit d'autant la durée transmission exploitables dans les slots de brouillage laissés vides,
 - Débordement spectral du signal de brouillage sur une partie des canaux laissés vides, en raison d'un filtrage insuffisant du spectre des signaux de brouillage, ce qui réduit d'autant la bande de transmission utile dans les canaux laissés vides de brouillage
 55 - Bilans de liaison entre les brouilleurs B_j et les récepteurs utiles R_n modélisés par des coefficients de perte $L_{j,n}$ induisant un niveau en entrée $L_{j,n}P_j$ (P_j : puissance isotrope rayonnée équivalente à l'émission par le brouilleur d'indice j). Ces niveaux d'entrées peuvent être estimés par les récepteurs amis (au moins le NLC, voire les récepteurs esclaves le cas échéant) d'après la connaissance a priori (ou d'après la récupération par analyse des signaux de

brouillage) de la PIRE émise, d'après la connaissance des positions et caractéristiques angulaires respectives des émetteurs amis des récepteurs amis et des brouilleurs, et d'après un modèle de propagation simplifié (suffisamment représentatif des phénomènes d'atténuation dans les bandes de fréquence concernées pour la topologie de terrain concerné et pour les distances entrant en jeu). Ces informations, lorsqu'elles sont relatives aux brouilleurs, proviennent par exemple de stratégies connues à l'avance des récepteurs amis (au moins connues du NLC) dont la mise en oeuvre est aisément reconnaissable à l'analyse des signaux de brouillage ; ou bien ces informations étant codées dans le signal de brouillage lui-même et décodées par le NLC dans son analyse du signal de brouillage ; ou bien ces informations étant codées dans un signal de taggage associé au brouilleur, par exemple selon le procédé décrit dans la demande de brevet FR 1203071 du demandeur.

- Seuil $\Delta J R_n$ de fonctionnement relatif au récepteur ami $R x_n$ (selon leur service de transmission), traduisant une condition de la forme $[\sum_j L_{j,n} P_j] < \Delta J R_n$, condition devant être vérifiée par la puissance cumulée des nuisances $[\sum_j L_{j,n} P_j]$ induites par l'ensemble des brouillages fratricides, nuisances évaluées d'après les estimation de puissance P_j propres à l'émission de chaque brouilleur et d'après le bilan de liaison $L_{j,n}$ estimés pour chaque lien brouilleur $B r_j$ - récepteur $R x_n$. La condition précitée traduit de manière (ici simplifiée mais suffisante et efficace dans de nombreux cas de mise en oeuvre de l'invention) la capacité de réception du lien utile $T x_m R x_n$ dans des conditions de bruit + brouillage acceptables. Elle peut être évaluée a priori assez simplement à partir de la connaissance a priori des schémas de brouillage ou de leur reconnaissance in situ par analyse, et par un modèle de bilan de liaison. Elle peut être confortée in situ par mesure de $R x_n$ sur les signaux de brouillage.

[0080] Le problème d'optimisation se résout alors de manière très simplifiée par une stratégie de re-allocation de ressource, ici conditionnelle au seuillage $\Delta J R_n$: les effets fratricides sur les postes amis restent limités et non significatifs dès lors que le NLC peut imposer la consigne suivante aux postes esclaves sous risque de brouillage (i.e. pour lesquels pour lequel on aurait $[\sum_j L_{j,n} P_j] > \Delta S J R_n$ en l'absence de re-allocation et en présence de signaux brouillage correspondant aux évaluations de puissances reçues $P_1 \dots P_J$) : pour chaque trame t_k , ré-allouer les liens sous risque de brouillage les émissions et réceptions des signaux utiles sur les slots laissés libres par le brouilleur, attribuer pour cela les slots et canaux libres aux émetteurs et récepteurs esclaves sous risque de brouillage selon une stratégie de gestion de priorité, selon une stratégie de gestion latence ou selon une stratégie concurrentielle aléatoire de type ALOHA, ou selon toute stratégie classiquement utilisée dans les techniques d'accès radio.

- Seuil $\Delta S J R_{m,n}$ de fonctionnement relatif aux liens utiles entre émetteur ami $T x_m$ récepteur ami $R x_n$ (selon leur service de transmission), traduisant une condition de la forme $\pi_{Y m,n} / [\sum_j L_{j,n} P_j] > \Delta S J R_n$, condition devant être vérifiée par le rapport entre la puissance utile reçue $\pi_{Y m,n}$ mesurée et la puissance cumulée des nuisances $[\sum_j L_{j,n} P_j]$ induites par l'ensemble des brouillages fratricides, nuisances évaluées d'après les estimation de puissance P_j propres à l'émission de chaque brouilleur et d'après un modèle de bilan de liaison $L_{j,n}$ estimés pour chaque lien brouilleur $B r_j$ - récepteur $R x_n$. La condition précitée traduit de manière (ici simplifiée mais suffisante et efficace dans de nombreux cas de mise en oeuvre de l'invention) la capacité d'établissement et/ou du maintien du lien utile $T x_m R x_n$ dans des conditions acceptables. Elle peut être évaluée assez simplement à partir de la connaissance a priori des schémas de brouillage ou de leur reconnaissance in situ par analyse, par un modèle de bilan de liaison (le cas échéant conforté par mesure analyse in situ de $R x_n$ sur les signaux brouilleurs), et à partir des mesures de niveau reçu sur le signal utile.

[0081] Le problème d'optimisation se résout là encore de manière très simplifiée par une stratégie de re-allocation de ressource, ici conditionnelle au seuillage $\Delta S J R_n$: les effets fratricides sur les postes amis restent limités et non significatifs dès lorsque que le NLC peut imposer la consigne suivante aux postes esclaves sous risque de brouillage (i.e. pour lesquels pour lequel on aurait $\pi_{Y m,n} / [\sum_j L_{j,n} P_j] < \Delta S J R_n$ en l'absence de re-allocation et en présence de signaux brouillage correspondant aux évaluations de puissances reçues $P_1 \dots P_J$) : pour chaque trame t_k , ré-allouer les liens sous risque de brouillage les émissions et réceptions des signaux utiles sur les slots laissés libres par le brouilleur, attribuer pour cela les slots et canaux libres aux émetteurs et récepteurs esclaves sous risque de brouillage selon une stratégie de gestion de priorité, selon une stratégie de gestion latence ou selon une stratégie concurrentielle aléatoire de type ALOHA, ou selon toute stratégie classiquement utilisée dans les techniques d'accès radio.

Revendications

1. - Procédé pour minimiser de façon adaptative et décentralisée les effets fratricides induits par le brouillage de P zones ZB ou positions prédéfinies dans un réseau de communications comportant des émetteurs amis, des brouilleurs et des récepteurs amis, ledit réseau comprenant N_{pl} plateformes, un nombre $M \leq N_{pl}$ desdites plateformes, dites plateformes d'émission amies étant équipées d'antennes et de systèmes d'émission de signaux de

transmission utiles configurables de manière dynamique, un nombre $N \leq N_{pl}$ desdites plateformes, dites aussi amies, étant équipées d'antennes et de systèmes dynamiquement configurables de réception de signaux de transmission utiles, un nombre $J \leq N_{pl}$ desdites plateformes étant équipées de systèmes et antennes de brouillage ayant des caractéristiques connues des plateformes d'émission et de réception amies, lesdits systèmes et antennes de brouillage étant adaptés pour empêcher les transmissions entre des entités externes audit réseau de plateformes amies, lesdites plateformes constituant un réseau, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes suivantes :

- E_0 : Etablir une situation de réception locale : au niveau de chacune des N plateformes de réception amies (12 r, 13) mesurer, E_1 , les signaux de communication S_u amis reçus par lesdites plateformes en provenance des M émetteurs amis (10 e, 11), à partir desdites mesures, pour chacune des N plateformes de réception amies, estimer, E_2 , les M niveaux utiles reçus et les M canaux de propagation utiles, $N \times M$ estimées,
- E_3 : Etablir une situation de brouillage locale : au niveau de chacune des N plateformes amies de réception (12 r, 13) mesurer, E_4 , les signaux de brouillage reçus par lesdites plateformes de réception amies en provenance des J brouilleurs (14, 15b), à partir des mesures des signaux de brouillage, pour chacune des N plateformes de réception amies, estimer, E_5 , les J niveaux de brouillage fratricides reçus et les J canaux de brouillage fratricides, $N \times J$ estimées en tout,
- connaissant a priori les formes d'ondes des signaux de brouillage et les paramétrages associés, à partir des états de la situation locale de brouillage établie par chacune des N plateformes réceptrices sur les J signaux provenant des J brouilleurs, à partir de la situation locale de réception établie par chacune des N plateformes réceptrices sur les signaux de communication utiles S_u , déterminer pour chacune des M plateformes émettrices amies et pour chacune des N plateformes réceptrices amies, au moins un des paramètres de configuration suivants : un plan de fréquence, et/ou des positionnements temporels des émissions, des diagrammes et/ou orientations d'antenne, des schémas d'accès radio et des schémas de modulation/codage des signaux émis et reçus, le ou les paramètres étant adaptés à minimiser ou éliminer les effets fratricides sur les N plateformes amies de réception,
- utiliser lesdits paramètres de configuration en émission et/ou réception pour les M plateformes d'émission amies et les N plateformes de réception amies.

2. - Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce que**, après avoir défini un premier ensemble de paramètres de configuration des M plateformes amies et des N plateformes amies, on réitère les étapes E_0 à E_5 au cours du temps afin de maintenir et optimiser les paramètres de configuration des plateformes.
3. - Procédé selon la revendication 1 **caractérisé en ce qu'il** utilise la mesure des canaux de propagation en provenance des J plateformes de brouillage, pour reconnaître in situ une stratégie de brouillage prédéfinie et connue afin d'optimiser conjointement l'émission et la qualité des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices et réceptrices amies en adaptant les niveaux de puissance d'émission et/ou les plans de fréquence et/ou le positionnement temporel des émissions et/ou les schémas de codage spatio-temporels et/ou les protocoles d'accès à la ressource radioélectrique employés par les émetteurs et les récepteurs amis.
4. - Procédé selon la revendication 1 ou 2 **caractérisé en ce qu'il** utilise des signaux de brouillage qui codent, de manière connue des récepteurs amis, les informations utiles aux émetteurs et récepteurs amis afin d'informer ceux-ci de la stratégie de brouillage employée, des caractéristiques des formes d'onde de brouillages et des paramètres associés, puissance d'émission, type de diagramme et orientation des antennes, position, altitude, pour faciliter l'optimisation conjointe des émissions et des traitements en réception des transmissions utiles au niveau des plateformes émettrices et réceptrices amies, lesdites informations codées étant reconstituées par l'analyse des signaux de brouillage reçus par les récepteurs amis ou décodées dans les signaux de brouillage reçus par les récepteurs amis.
5. - Procédé selon la revendication 1, 2 ou 3, **caractérisé en ce qu'il** utilise des émetteurs et récepteurs amis programmables adaptés à prendre en compte dynamiquement des consignes d'émission, sur la puissance et/ou sur des paramètres temporels, la forme d'onde, les codage spatio-temporels, la pondération amplitude phase des éléments d'antenne
6. - Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 dans des réseaux de transmission utilisant les protocoles MIMO, MISO, SIMO ou SISO avec ou sans voie retour des récepteurs amis vers les émetteurs amis.
7. - Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 dans un réseau radio comprenant des récepteurs adaptés à mesurer des valeurs de canaux de transmission sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

EP 2 747 328 A1

8. - Utilisation du procédé selon l'une des revendications 1 à 5 dans un réseau radio comportant un ou plusieurs postes de réception comportant des éléments antennaires couplés à un intercepteur adapté à effectuer des mesures de canal de transmission sur les émetteurs utiles et sur les brouilleurs.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

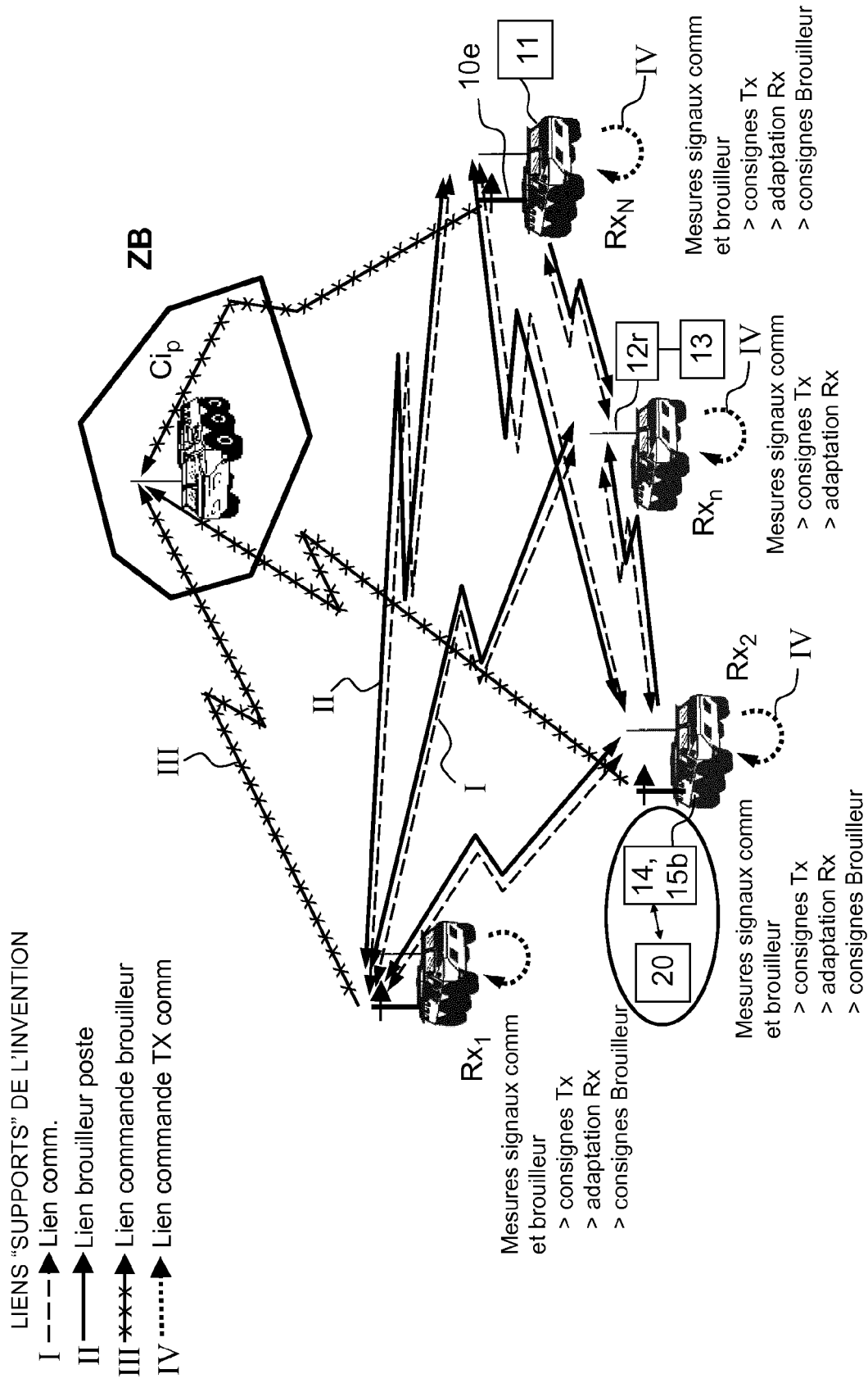


FIG.1

Réseau émission Réseau réception Matrice de filtrage canal Mélange spatial et convolutif de l'entrée S par le filtre canal pour produire la sortie X

$$\begin{bmatrix} S_1(t) \\ \vdots \\ S_N(t) \end{bmatrix} \quad X(t) = \begin{bmatrix} X_1(t) \\ \vdots \\ X_N(t) \end{bmatrix} \quad X(t) = (H * S)(t) \rightarrow \begin{bmatrix} X_1(t) \\ \vdots \\ X_N(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & \dots & H_{1M} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{N1} & \dots & H_{NM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_1(t) \\ \vdots \\ S_M(t) \end{bmatrix}$$

Mélange temporel convolutif entre éléments n et m des réseaux en émission/réception

$$\begin{aligned} X_{nm}(t) &= (H_{mn} * S_m)(t) \\ &= \sum_{l=1}^{L_{mn}} \alpha_l^{(mn)} \left[\sum_{n_1=1}^{N_l} \alpha_{n_1}^{(mn)} \exp[i((2\pi\nu/\lambda) \cos \theta_{(n_1, l)}^{(mn)} - \gamma_l^{(mn)})t + \varphi_{(n_1, l)}^{(mn)}] U_S(\theta_{(n_1, l)}^{(mn)}) \right] S_m(t - \tau_l^{(mn)}) \end{aligned}$$

Mélange spatio-temporel convolutif entre élément n et vecteur signal émis $s(t) = \begin{bmatrix} S_1(t) \\ \vdots \\ S_M(t) \end{bmatrix}$

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

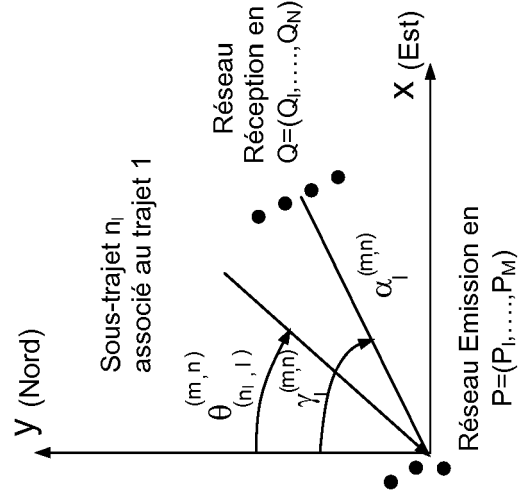
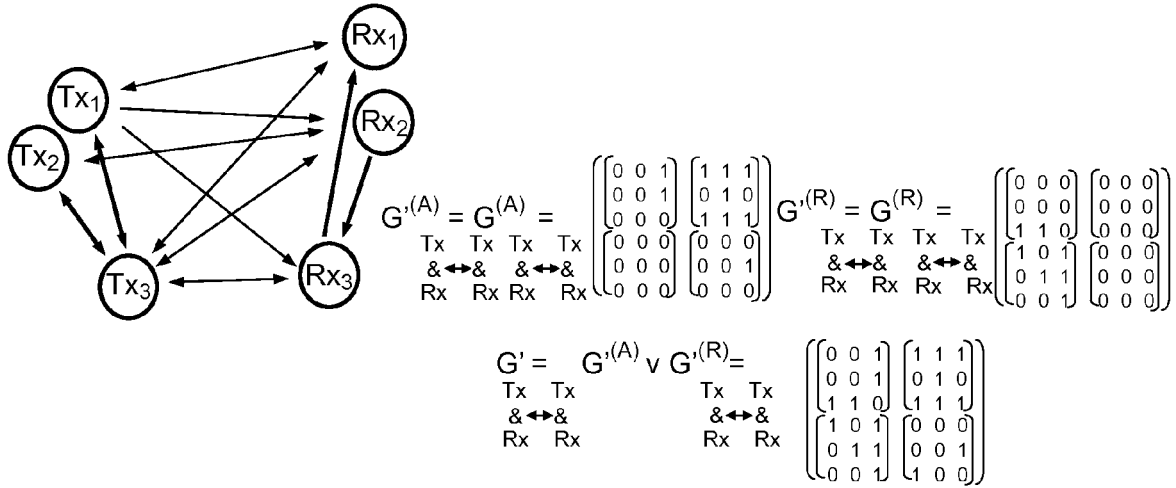


FIG.2

**AUTRE EXEMPLE DE GRAPHE ORIENTE DE RESEAU AVEC DES LIENS SISO
MATRICE DE GRAPHE G ET DE MACROGRAPHE G' (G'=G)**



MEME TOPOLOGIE AVEC DES LIENS MIMO 2x2

MACRO GRAPHE G' ORIENTE DE RESEAU ET MATRICE DE MACRO-GRAPHE

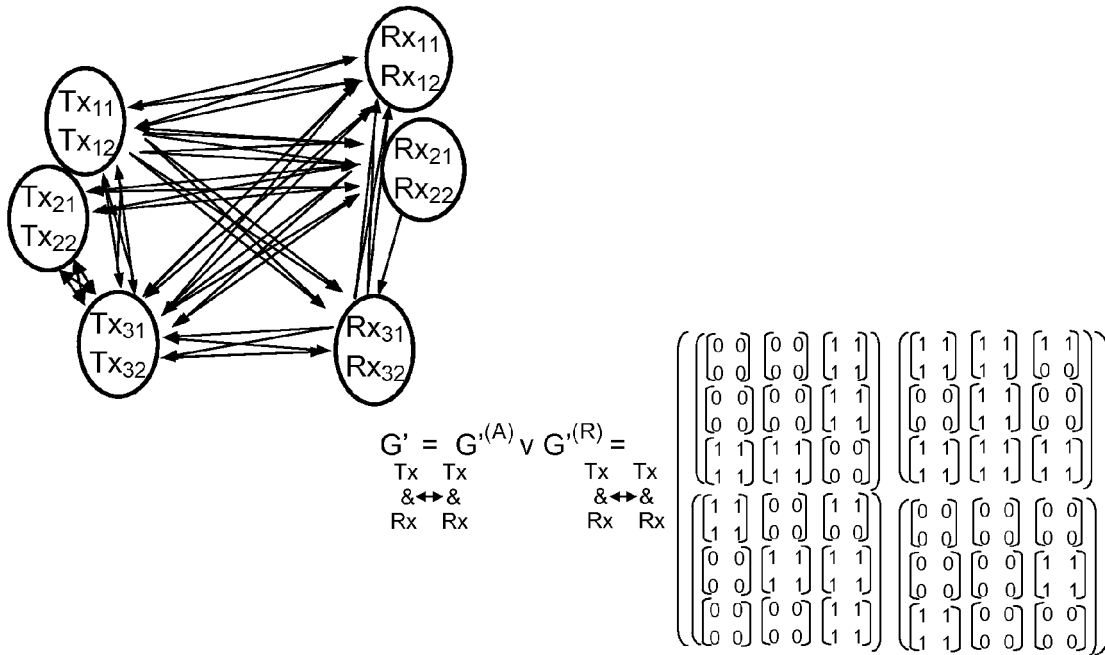


FIG.3B

DEFINITION DU PRODUIT LOGIQUE TERME A TERME CAS GENERAL

A et B matrices de mêmes tailles 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 et B : produit terme à terme.
 Equivalent au produit logique terme à terme
 Pour des graphes de réseau

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

DEFINITION DE LA MATRICE DE CANAL GENERALISEE

Matrice de canal

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

(Macro)graphe réseau

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

Canal généralisé

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

FIG.4



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 19 7344

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	EP 0 082 055 A1 (THOMSON CSF [FR]) 22 juin 1983 (1983-06-22)	1-3,5-8	INV. H04K3/00
Y	* abrégé * * page 1, ligne 1 - page 2, ligne 18 * * page 2, ligne 33 - page 8, ligne 17 * * figures 1-4 *	4	
Y	WO 2010/032237 A1 (NETLINE COMM TECHNOLOGIES NCT [IL]; TE-ENI BENJAMIN [IL]; ISRAELI GIL) 25 mars 2010 (2010-03-25) * abrégé * * page 3, ligne 21 - ligne 27 * * page 4, ligne 13 - page 6, ligne 18 * * figures 1A, 6A, 9 *	4	
Y	US 7 873 095 B1 (STOCKMASTER MICHAEL H [US]) 18 janvier 2011 (2011-01-18) * abrégé * * colonne 1, ligne 1 - colonne 2, ligne 49 * * colonne 3, ligne 6 - colonne 8, ligne 38 * * figures 1-2 *	1-3,5-8	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H04K H04B
Y	US 2008/239980 A1 (NICULESCU DRAGOS [US]) 2 octobre 2008 (2008-10-02) * abrégé * * alinéa [0010] - alinéa [0012] * * alinéa [0017] - alinéa [0044] *	1-3,5-8	
A	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] *	1-8	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche La Haye		Date d'achèvement de la recherche 8 janvier 2014	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 13 19 7344

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.

08-01-2014

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0082055	A1	22-06-1983	DE 3275427 D1	12-03-1987
			EP 0082055 A1	22-06-1983
			FR 2518337 A1	17-06-1983
			US 4578817 A	25-03-1986

WO 2010032237	A1	25-03-2010	AUCUN	

US 7873095	B1	18-01-2011	AUCUN	

US 2008239980	A1	02-10-2008	AUCUN	

US 2004009768	A1	15-01-2004	GB 2388275 A	05-11-2003
			US 2004009768 A1	15-01-2004

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

- FR 1103578 [0005]
- EP 1303069 A [0068]
- FR 1203071 [0079]