



(51) Classification internationale des brevets :
H04L 12/56 (2006.01) H04W 84/18 (2009.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2012/050712

(22) Date de dépôt international :
2 avril 2012 (02.04.2012)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1152737 31 mars 2011 (31.03.2011) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
FRANCE TELECOM [FR/FR]; 78 Rue Olivier de Serres,
F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : LAUGIER,
Alexandre [FR/FR]; 2 place André Laugier, F-06440
Peille (FR). IMBROSCIANO, Sébastien [FR/FR]; 21
avenue Fabron -, Résidence Fabron Park, F-06200 Nice
(FR).

(74) Mandataire : FRANCE TELECOM R&D/PIV/BRE-
VETS; CASPAR Catherine, 38-40 rue du Général Leclerc,
F-92794 Issy Moulineaux Cedex 9 (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv))

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : DATA COMMUNICATION IN A SENSOR ARRAY

(54) Titre : COMMUNICATION DE DONNÉES DANS UN RÉSEAU DE CAPTEURS

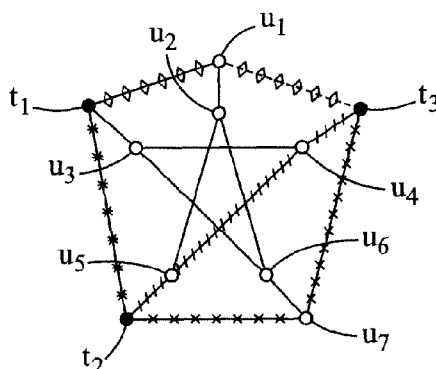


FIG. 10

(57) Abstract : The invention relates to processing data for data communication in an array, the array including a set of devices and a set of links, each link connecting two of said devices. The data-processing includes: iteratively determining a set of communication paths between the devices, each communication path comprising one or more link(s) from the set of links, and configuring the devices such that each communication between two devices uses a communication path from the set of communication paths.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte à un traitement de données pour la communication de données dans un réseau, le réseau comprenant un ensemble de dispositifs et un ensemble de liaisons, chaque liaison reliant deux desdits dispositifs. Le traitement de données comprenant : - la détermination, de manière itérative, d'un ensemble de chemins de communication entre les dispositifs, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons, et - la configuration des dispositifs pour que chaque communication entre deux dispositifs utilise un chemin de communication de l'ensemble de chemins de communication.



COMMUNICATION DE DONNEES DANS UN RESEAU DE CAPTEURS

La présente invention vise un traitement de données pour la communication de données dans un réseau informatique. En particulier, la présente invention vise un traitement de données pour la communication de données dans un réseau de capteurs.

Les capteurs actuels, par leur diversité, sont capables de mesurer différentes grandeurs physiques ou chimiques, par exemple une position d'un objet à la surface de la terre, une température, un niveau d'eau, un niveau de lumière, une présence de certains corps chimiques, etc. Certains capteurs sont en outre capables de fournir des images.

De manière générale, on appelle capteur un dispositif capable de réaliser une mesure d'un paramètre de son environnement, et de transmettre des données de mesure correspondantes.

On appelle réseau de capteurs un réseau informatique comportant un ensemble de capteurs et un ensemble de voies de communication permettant aux capteurs de transmettre des données de mesure. Un réseau de capteurs peut en outre comporter d'autres dispositifs, par exemple un ou plusieurs dispositif(s) de collecte, configuré(s) pour collecter des données de mesure fournies par les capteurs, et /ou un ou plusieurs dispositif(s) de routage, configuré(s) pour permettre le routage des données de mesure transmises. Les voies de communication sont par exemple des liaisons radioélectriques ou des liaisons filaires.

Actuellement, les capteurs sont généralement uniquement configurés pour mesurer un paramètre de l'environnement dans lequel ils sont implantés et pour transmettre les données de mesure correspondantes vers un point de collecte où l'information sera traitée. Les communications vers ce point de collecte se font par exemple suivant des chemins de communication définissant une topologie virtuelle arborescente. La sécurité des communications peut alors être assurée par le fait que l'arbre virtuel n'est pas unique.

Cependant, cette solution n'est pas applicable dans le cas d'un réseau de capteurs comportant des capteurs en outre configurés pour agir sur leur environnement, seul ou en association avec d'autres dispositifs. En effet, dans ce cas, le problème n'est plus d'assurer la sécurité des communications vers un point collecte, mais d'assurer la sécurité des communications entre les différents capteurs du réseau de capteurs.

La présente invention vient améliorer la situation.

A cet effet, l'invention propose un procédé de traitement de données pour la communication de données dans un réseau. Le réseau comprend un ensemble de dispositifs formant

nœuds dudit réseau et un ensemble de liaisons, chaque liaison reliant deux desdits dispositifs. Le procédé comprend des étapes :

- déterminer un ensemble de chemins de communication entre les dispositifs, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons,
- 5 - configurer les dispositifs pour que chaque communication entre deux dispositifs utilise un chemin de communication de l'ensemble de chemins de communication.

Les communications entre les dispositifs nécessitent la détermination préalable des chemins suivant lesquels ces communications pourront être acheminées : cela revient à contraindre les dispositifs à utiliser un chemin de cet ensemble. Cet ensemble de chemins représente donc les
10 chemins « autorisés » à un instant donné.

Cette détermination préalable permet en outre de déterminer un nombre maximum de chemins susceptibles d'être utilisés à un instant donné, ce qui permet de maximiser la bande passante totale utilisable dans le réseau.

Avantageusement, les chemins de communication de l'ensemble de chemins de
15 communication sont disjoints, c'est-à-dire que deux chemins quelconques de cet ensemble ne possèdent aucune liaison en commun (mais peuvent comporter un ou plusieurs nœuds en commun). L'utilisation de chemins disjoints permet d'augmenter la sécurité des communications entre les dispositifs du réseau. En effet, l'utilisation d'un ensemble de chemins disjoints améliore la robustesse aux pannes, puisque, en cas de panne affectant une liaison, un seul chemin sera affecté.
20 En outre, cela permet d'éviter les risques de collision, donc les risques de non-transmission de données ou d'erreurs de transmission.

L'étape de détermination de l'ensemble de chemins de communication peut être mise en œuvre dans un des dispositifs. L'étape de configuration peut alors comporter une opération de transmission par le dispositif, à destination d'au moins un autre dispositif du réseau, d'un message
25 contenant des informations relatives à l'ensemble de chemins de communication.

L'étape de détermination de l'ensemble de chemins de communication peut comporter une opération de sélection de deux dispositifs parmi les dispositifs du réseau, et une opération de détermination d'un nouveau chemin de communication entre les deux dispositifs sélectionnés.

L'opération de détermination d'un nouveau chemin de communication entre les deux
30 dispositifs sélectionnés peut comprendre la sélection d'une liaison de l'ensemble de liaisons, et la construction d'un nouveau chemin de communication en utilisant la liaison sélectionnée, un plus court chemin entre un des deux dispositifs sélectionnés et une première extrémité de la liaison, et un plus court chemin entre la deuxième extrémité de la liaison et l'autre des deux dispositifs sélectionnés.

Les liaisons peuvent être des liaisons radioélectriques. En variante, les liaisons peuvent être des liaisons filaires.

L'invention propose également un programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé décrit ci-dessus lorsque ce programme est exécuté par un processeur.

L'invention propose également un dispositif, conçu pour être utilisé dans un réseau comprenant un ensemble de dispositifs et un ensemble de liaisons, chaque liaison reliant deux desdits dispositifs, ledit dispositif étant configuré pour :

- déterminer un ensemble de chemins de communication à utiliser entre les dispositifs du réseau, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons,
- configurer les dispositifs du réseau pour que chaque communication entre deux desdits dispositifs utilise un chemin de communication dudit ensemble de chemins de communication.

Le dispositif peut être un capteur configuré pour transmettre des données de mesure, correspondant à une mesure réalisée par le capteur, à au moins un autre capteur du réseau, le capteur étant en outre configuré pour que chaque communication entre ledit capteur et un autre capteur du réseau utilise au moins un chemin de communication de l'ensemble de chemins de communication.

L'invention propose également un réseau comprenant un ensemble de dispositifs et un ensemble de liaisons, chaque liaison reliant deux desdits dispositifs. Au moins un des dispositifs est configuré pour déterminer un ensemble de chemins de communication entre les dispositifs, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons. Les dispositifs sont en outre configurés pour que chaque communication entre deux des dispositifs utilise un chemin de communication de l'ensemble de chemins de communication.

L'ensemble de dispositifs peut comprendre des capteurs et des dispositifs de routage.

Le dispositif réalisant la détermination peut être un capteur en outre configuré pour transmettre, à destination d'au moins un dispositif de routage, un message contenant des informations relatives à l'ensemble de chemins de communication.

Le capteur réalisant la détermination peut en outre être configuré pour sélectionner deux capteurs parmi les capteurs du réseau de capteurs, et pour déterminer un nouveau chemin de communication entre les deux capteurs sélectionnés.

Le capteur réalisant la détermination peut en outre être configuré pour sélectionner une liaison de l'ensemble de liaisons, et pour construire un nouveau chemin de communication à partir de la liaison sélectionnée, d'un plus court chemin entre un des deux capteurs sélectionnés et une

première extrémité de la liaison, et d'un plus court chemin entre la deuxième extrémité de la liaison et l'autre des deux capteurs sélectionnés.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront encore à la lecture de la description qui va suivre. Celle-ci est purement illustrative et doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :

- la Figure 1 est un graphe représentant un réseau de capteurs ;
- la Figure 2 est un organigramme illustrant les étapes d'un procédé de communication de données dans le réseau de capteurs selon un mode de réalisation de l'invention, cet organigramme pouvant représenter l'algorithme général du programme informatique au sens de l'invention ;
- les Figures 3 à 10 sont des vues similaires à la figure 1 illustrant le déroulement de différentes étapes du procédé de la figure 2 ; et
- la Figure 11 est un schéma fonctionnel montrant un capteur du réseau de capteurs, selon un mode de réalisation de l'invention.

L'invention concerne un procédé de traitement de données pour la communication de données dans un réseau d'entités communicantes. Elle est décrite dans le cas de son application à un réseau de capteurs.

La figure 1 montre un réseau de capteurs G représenté sous la forme d'un graphe G.

Le réseau de capteurs G est par exemple utilisé dans le domaine de la sécurité, notamment pour détecter une situation anormale (intrusion d'une personne, dégradation d'une installation, alerte météorologique, détection précoce de séismes).

En variante, le réseau de capteurs G peut être utilisé dans le domaine de la surveillance de l'environnement, notamment pour fournir des informations sur l'environnement (analyse de l'air en des points particuliers, analyse de l'eau, détection des incendies de forêt) ou pour déterminer des assolements optimaux pour différentes cultures.

En variante, le réseau de capteurs G peut être utilisé dans le domaine des applications relatives à la chaîne support logistique, notamment pour délivrer la position d'un véhicule, ou de marchandises, afin de suivre les acheminements et/ou de déterminer le niveau des stocks.

En variante, le réseau de capteurs G peut être utilisés dans le domaine militaire, notamment pour surveiller un champ d'opérations et des actions logistiques devant subvenir aux besoins des opérations, ainsi que dans le domaine de la productique et la domotique.

Le réseau de capteurs G comprend un ensemble de dispositifs représentés respectivement par des nœuds (ou sommets) du graphe. On appelle ensemble V l'ensemble des nœuds du graphe G.

L'ensemble de dispositifs comporte trois capteurs t_1 , t_2 et t_3 . Les capteurs t_1 , t_2 et t_3 sont configurés pour mesurer un paramètre de l'environnement dans lequel ils sont implantés et pour
5 transmettre des données de mesure correspondantes à destination d'un autre dispositif du réseau de capteurs G. Chaque capteur t_1 , t_2 , t_3 est en outre configuré pour agir sur son environnement, seul ou en association avec un autre dispositif, en fonction de données de mesure mesurées par le capteur t_1 , t_2 , t_3 ou reçues d'un autre capteur t_1 , t_2 , t_3 .

En se référant à la figure 11, le capteur t_1 comporte un module de mesure 1 configuré pour
10 mesurer un paramètre de son environnement, et un module d'émission-réception 2 configuré pour transmettre des données de mesure correspondant à une mesure réalisée par le module de mesure 1 et pour recevoir des données, notamment des données de mesure, provenant des capteurs t_2 et t_3 . Le capteur t_1 comporte en outre un module de traitement 3 configuré pour mettre en œuvre un procédé de communication de données dans le réseau de capteurs G, décrit en détails plus loin. Les capteurs
15 t_2 et t_3 sont réalisés de manière similaire.

L'ensemble de dispositifs comporte également sept dispositifs de routage u_1 à u_7 . Les dispositifs de routage u_1 à u_7 sont configurés pour router les communications entre les capteurs t_1 , t_2 et t_3 .

Ainsi, les capteurs t_1 à t_3 sont des dispositifs émetteurs et/ou destinataires d'un paquet de
20 données, tandis que les dispositifs de routage u_1 à u_7 sont des dispositifs servant d'intermédiaires pour l'acheminement d'un tel paquet de données d'un capteur à un autre. Les capteurs du réseau G sont reliés entre eux par un ensemble de voies de communication (appelées ici également chemins de communication), comprenant des liaisons, chaque liaison (a,b) entre deux dispositifs a et b étant représentée par un lien (ou arêtes) du graphe G. On appelle ensemble E l'ensemble des liens /
25 arêtes du graphe G.

Sur l'exemple représenté à la figure 1, l'ensemble de voies de communication comporte :

- une liaison (t_1, u_1) entre le capteur t_1 et le dispositif de routage u_1 ,
- une liaison (t_1, u_3) entre le capteur t_1 et le dispositif de routage u_3 ,
- une liaison (t_1, t_2) entre le capteur t_1 et le capteur t_2 ,
- 30 - une liaison (t_2, u_5) entre le capteur t_2 et le dispositif de routage u_5 ,
- une liaison (t_2, u_7) entre le capteur t_2 et le dispositif de routage u_7 ,
- une liaison (t_3, u_1) entre le capteur t_3 et le dispositif de routage u_1 ,
- une liaison (t_3, u_4) entre le capteur t_3 et le dispositif de routage u_4 ,

- une liaison (t_3, u_7) entre le capteur t_3 et le dispositif de routage u_7 ,
- une liaison (u_1, u_2) entre le dispositif de routage u_1 et le dispositif de routage u_2 ,
- une liaison (u_2, u_5) entre le dispositif de routage u_2 et le dispositif de routage u_5 ,
- une liaison (u_2, u_6) entre le dispositif de routage u_2 et le dispositif de routage u_6 ,
- 5 - une liaison (u_3, u_4) entre le dispositif de routage u_3 et le dispositif de routage u_4 ,
- une liaison (u_3, u_6) entre le dispositif de routage u_3 et le dispositif de routage u_6 ,
- une liaison (u_4, u_5) entre le dispositif de routage u_4 et le dispositif de routage u_5 , et
- une liaison (u_6, u_7) entre le dispositif de routage u_6 et le dispositif de routage u_7 .

Les liaisons sont des liaisons radioélectriques, par exemple des liaisons de type Wifi. En
 10 variante, les liaisons pourraient être des liaisons filaires. Une liaison (a, b) est considérée sans orientation, c'est-à-dire qu'elle sert à la communication d'un dispositif a vers un dispositif b , et à la communication du dispositif b vers le dispositif a .

On appelle sous-ensemble T de l'ensemble V ($T \subseteq V$) le sous-ensemble des nœuds du
 graphe G représentant des dispositifs configurés pour pouvoir communiquer entre eux, qui sont
 15 émetteurs et/ou destinataires d'un paquet de données, et non pas simples intermédiaires dans l'acheminement de paquets. En d'autres termes, le sous-ensemble T comporte uniquement les capteurs t_1, t_2, t_3 , mais pas les dispositifs de routage.

On appelle sous-ensemble $(V-T)$ de l'ensemble V le sous-ensemble des nœuds du graphe G
 qui n'appartiennent pas au sous-ensemble T . Le sous-ensemble $(V-T)$ comporte donc les dispositifs
 20 de routage u_1 à u_7 .

Une communication entre deux capteurs t peut passer par un ou plusieurs dispositifs de
 routage u , mais ne peut pas passer par un troisième capteur t . Ainsi, on fait l'hypothèse ici qu'un
 chemin de communication joignant un premier capteur t et un deuxième capteur t' du sous-
 ensemble T ne peut pas contenir un autre capteur du sous-ensemble T . Ainsi, les chemins de
 25 communication entre deux capteurs t et t' du sous-ensemble T ne comprendront aucun capteur en commun, si ce n'est les capteurs t et t' .

On considère par exemple que les liaisons radioélectriques présentent une capacité unitaire
 donnée et tous les dispositifs émettent sur une même fréquence. En conséquence, une seule
 communication peut être acheminée à un instant donné sur une liaison.

30 Les dispositifs n'ont pas nécessairement connaissance de l'ensemble de la topologie du réseau de capteurs. Selon des modes de réalisation de l'invention, les dispositifs t, u ont

connaissance de leurs voisins, c'est-à-dire des dispositifs qui leurs sont directement reliés par une liaison.

Selon des modes de réalisation de l'invention, les dispositifs de routage u_1 à u_7 ont en outre connaissance de leur appartenance au domaine réseau d'un capteur t_1, t_2, t_3 .

5 Les capteurs t_1, t_2, t_3 sont en outre conçus pour exécuter une version distribuée de l'algorithme de Ford-Belman au moyen duquel, à partir d'un ensemble de chemins utilisables, chaque capteur calcule le plus court chemin existant entre lui et un autre capteur destinataire de données à transmettre. Cet algorithme est décrit par exemple dans l'ouvrage intitulé « Graphes et algorithmes », des auteurs M. Gondran et M. Minoux, publié aux Editions Eyrolles.

10 En référence à la figure 2, on décrit ci-dessous un mode de réalisation du procédé communication de données, qui permet d'améliorer la gestion de la bande passante du réseau de capteurs G. Le procédé est mis en œuvre dans chacun des capteurs t_1, t_2, t_3 . En variante, le procédé peut être mis en œuvre dans un seul des capteurs t_1, t_2, t_3 , ou bien dans une partie des capteurs t_1, t_2, t_3 .

15 Le procédé est mis en œuvre par un capteur t et fait appel, pour un nœud t donné, à des informations topologiques représentatives de la topologie du réseau dans l'environnement de ce nœud t , ces informations topologiques comprend notamment l'ensemble des voisins du nœud t , le domaine réseau X_t du nœud t et la frontière de ce domaine réseau. Ces notions sont définies plus en détail ci-dessous.

20 On appelle ensemble X_t un ensemble représentant le domaine du nœud t du sous-ensemble T. L'ensemble X_t comprend des dispositifs du réseau de capteurs G considérés comme appartenant au domaine réseau du capteur t . Le domaine réseau du capteur t peut comprendre, outre le capteur t , un ou plusieurs dispositif(s) de routage u , mais pas d'autre capteur t . Aussi, l'intersection entre l'ensemble X_t et le sous-ensemble T contient uniquement le nœud t ($X_t \cap T = \{t\}$).

25 On appelle ensemble $B(t)$ un ensemble de dispositifs (capteurs t et/ou dispositifs de routage u) considérés comme voisins du domaine X_t et n'appartenant à aucun domaine. L'ensemble $B(t)$ comprend des dispositifs t, u directement reliés à un dispositif du domaine réseau X_t par une liaison, et qui sont considérés comme n'appartenant pas à un autre domaine réseau $X_{t'}$.

30 On appelle ensemble $B'(t)$ une frontière du domaine X_t . L'ensemble $B'(t)$ comprend des dispositifs t, u considérés comme directement reliés par une liaison à un dispositif n'appartenant pas au domaine X_t . L'intersection entre l'ensemble $B'(t)$ et l'ensemble $B'(t')$ est en outre égale à l'ensemble vide ($B'(t) \cap B'(t') = \emptyset$).

On appelle variable X_t'' une variable indicatrice du fait qu'un dispositif de routage u du sous-ensemble $(V-T)$ appartient ou non au domaine X_t du capteur t . La variable X_t'' vaut '1' si le dispositif de routage u appartient au domaine X_t , et vaut '0' sinon.

5 On appelle ensemble $\Gamma(X)$ un ensemble de dispositifs t, u voisins d'au moins un nœud d'un sous-ensemble X de l'ensemble V ($X \subseteq V$) qui n'appartiennent pas au sous-ensemble X . L'ensemble $\Gamma(X)$ comprend des dispositifs t, u du réseau de capteur G qui n'appartiennent pas au sous-ensemble X mais qui sont directement reliés par une liaison à un dispositif t, u du sous-ensemble X .

10 On appelle ensemble $E(u - v)$ un ensemble de liaisons formant un chemin de communication d'un premier dispositif u à un deuxième dispositif v du réseau de capteurs G . Un chemin de communication du dispositif u au dispositif v peut comprendre une unique liaison lorsque les dispositifs u et v sont directement reliés par une liaison, ou plusieurs liaisons lorsqu'une communication entre les dispositifs u et v doit être routée via un ou plusieurs dispositif(s) de routage du réseau de capteurs G .

15 On appelle ensemble $E(X : Y)$ un ensemble de liaisons ayant une extrémité dans le sous-ensemble X de l'ensemble V et l'autre extrémité dans le sous-ensemble Y de l'ensemble V .

On appelle ensemble $pcch(u - v)$ un ensemble de liaisons constituant le plus court chemin (du point de vue du nombre de liaisons) du dispositif u au dispositif v .

20 On appelle ensemble $P(t - t')$ un ensemble de chemins de communication d'un capteur t à un capteur t' .

L'approche proposée ici consiste à déterminer l'ensemble X_t pour les différents capteurs t du réseau, au moyen d'un processus itératif, comprenant les étapes S21 à S23 décrites ci-dessous, processus au cours duquel chaque capteur détermine son domaine réseau X_t . Le processus est donc mis en œuvre de manière répartie entre les différents capteurs du réseau.

25 A l'initialisation du processus, chaque ensemble X_t comprenant uniquement le capteur t . Puis, à chaque itération, on ajoute à l'ensemble X_t les voisins de t qui n'appartiennent pas à l'ensemble T et qui n'appartiennent pas déjà à un autre domaine $X_{t'}$, c'est-à-dire qu'on ajoute à l'ensemble X_t le contenu de l'ensemble $B(t)$. Ainsi, à chaque itération, l'étendue de l'ensemble X_t est modifiée à partir de la connaissance de la frontière $B'(t)$ de l'ensemble X_t , à la manière d'un front d'onde qui se propagerait à partir de la frontière de l'ensemble X_t .

30

Chacun des capteurs t du réseau met en œuvre ce même processus. La variable X_t'' , qui caractérise l'appartenance d'un dispositif de routage u au domaine X_t d'un capteur t , varie ainsi au fur et à mesure des modifications des ensembles X_t déterminés par les capteurs t .

A l'issu du procédé, on aboutit alors à une répartition des entités t , u du réseau dans des domaines réseaux X_t disjoints.

L'algorithme mathématique correspondant est décrit en détail ci-dessous : il fait ressortir les principes énoncés ci-dessus.

5 L'étape S1 est une étape d'initialisation. Pour chaque capteur t du sous-ensemble T , c'est-à-dire dans l'exemple pour chaque capteur t_1 , t_2 et t_3 :

- l'ensemble X_t est défini comme comprenant uniquement le capteur t ,
- l'ensemble $B(t)$ est défini comme étant égal à l'ensemble vide, et
- l'ensemble $B'(t)$ est défini comme étant égal à l'ensemble vide.

10 C'est-à-dire que :

Pour tout $t \in T$ $X_t = \{t\}, B(t) = \emptyset, B'(t) = \emptyset$

De plus, pour chaque couple de capteurs t , t' du sous-ensemble T , l'ensemble $P(t-t')$ est défini comme étant égal à l'ensemble vide.

C'est-à-dire que :

Pour tout $t' \in T - \{t\}$ $P(t - t') = \emptyset$

15

De plus, pour chaque dispositif de routage u du sous-ensemble $(V-T)$ la variable X_t^u est fixée égale à '0', c'est-à-dire que les dispositifs de routage u_1 à u_7 sont initialement considérés comme n'appartenant à aucun domaine réseau.

En d'autres termes :

Pour tout $u \in V - T$ $X_t^u = 0$
--

20

L'étape S2 est une étape de traitement itérative visant à établir le plus grand nombre de chemins entre les capteurs t du sous-ensemble T , c'est-à-dire entre les capteurs t_1 , t_2 et t_3 .

L'étape S2 comprend des opérations S21 à S25.

A l'opération S21, un capteur t du sous-ensemble T est sélectionné.

25 Puis, un ensemble U_t est déterminé comme contenant les dispositifs de routage u du sous-ensemble $(V-T)$ dont la variable X_t^u est égale à '1'. L'ensemble U_t contient donc les dispositifs de

routage u considérés comme appartenant au domaine réseau X_t du capteur t sélectionné. A l'initialisation du procédé, cet ensemble U_t est donc vide.

L'opération S21 est répétée pour chaque capteur t du sous-ensemble T , c'est-à-dire pour chaque capteur t_1, t_2, t_3 , comme symbolisé par la flèche F_{21} . Lorsque tous les capteurs t ont été
5 sélectionnés, le procédé passe à l'opération S22.

A l'opération S22, un ensemble U est déterminé comme étant égal à l'union des ensembles U_t . L'ensemble U contient donc les dispositifs de routage u considérés comme appartenant au domaine réseau d'un des capteurs t .

A l'opération S23, un capteur t du sous-ensemble T est sélectionné.

10 Puis, l'ensemble $B(t)$ est déterminé comme étant égal à l'intersection de l'ensemble des voisins $\Gamma(X_t)$ et du sous-ensemble $(V-T)$, moins l'union de l'ensemble U et des ensembles X_t associés respectivement à chaque capteur t . L'ensemble $B(t)$ contient donc les dispositifs de routage u , considérés comme voisins du domaine réseau du capteur t , et n'appartenant pas déjà à un domaine réseau d'un autre capteur.

15 Puis, l'ensemble $B'(t)$ est déterminé comme étant égal à l'ensemble $B(t)$, moins l'union des intersections des ensembles $B(t)$ et $B'(t)$ respectivement associés à chaque nœud t du sous-ensemble T . L'ensemble $B'(t)$ contient donc les dispositifs de routage u considérés comme voisins du domaine réseau du capteur t , n'appartenant pas déjà au domaine réseau d'un des capteurs t , et n'appartenant pas à la fois à l'ensemble des voisins d'un des nœuds t et à la frontière du domaine
20 réseau de ce nœud t . La détermination de l'ensemble $B'(t)$ permet de décroiser les frontières des différents domaines réseau.

Puis, l'ensemble $B(t)$ est défini comme étant égal à l'ensemble $B'(t)$.

Puis, le domaine X_t est déterminé comme étant égal à l'union du domaine X_t et de l'ensemble $B(t)$. Le domaine X_t contient donc à ce stade les dispositifs de routage u appartenant
25 déjà au domaine réseau du capteur t , ainsi que les dispositifs de routage u considérés comme voisins du domaine réseau du capteur t et n'appartenant pas déjà à un domaine réseau.

Puis, pour tout dispositif appartenant à l'intersection du domaine X_t et du sous-ensemble $(V-T)$, la variable X_t'' est fixée égale à '1'. Ainsi, la variable X_t'' de chaque dispositif de routage u appartenant au domaine réseau du capteur t est fixée égale à '1', pour indiquer que le dispositif de
30 routage u appartient au domaine réseau du capteur t .

L'opération S23 est répétée pour chaque capteur t du sous-ensemble T , c'est-à-dire pour chaque capteur t_1, t_2, t_3 , comme symbolisé par la flèche F_{23} . Lorsque tous les capteurs t du sous-ensemble T ont été sélectionnés, le procédé passe à l'opération S24.

A ce stade, les ensembles X_i obtenus sont des ensembles disjoints, dans lesquels sont réparties les entités t, u du réseau : chaque capteur t appartient à un ensemble X_i et un seul, et chaque dispositif u appartient à au plus un ensemble X_i .

5 Les étapes S24 à S25 décrites ci-dessous définissent un processus itératif pour la détermination de chemins disjoints à partir de ces domaines réseaux disjoints. Dans ce processus de détermination des chemins, comme il s'agit de chemins pour la transmission de données d'un capteur à un autre, chaque chemin aura nécessairement une extrémité dans un domaine réseau d'un capteur et l'autre extrémité dans le domaine réseau d'un autre capteur. En outre, chaque chemin
10 aura une première portion dans un premier domaine réseau et une deuxième portion dans un deuxième domaine réseau. On peut donc construire un chemin complet à partir de portions de chemin déterminées domaine par domaine.

L'algorithme mathématique correspondant est décrit en détail ci-dessous et fait ressortir les principes énoncés ci-dessus.

15 A l'opération S24, un ensemble $\tilde{T}$ est déterminé comme étant égal au sous-ensemble T .

A l'opération S25, un capteur t du sous-ensemble T est sélectionné. L'opération S25 comprend une sous-opération S251 comportant la sélection d'un capteur t' appartenant à l'ensemble $\tilde{T}$.

Puis, une liaison (u,v) appartenant à l'ensemble $E(X_i : X_{i'})$ est sélectionnée. Une liaison
20 (u,v) est donc sélectionnée parmi les liaisons ayant une extrémité dans le domaine réseau du capteur t et une extrémité dans le domaine réseau du capteur t' .

Puis, si les ensembles $pcch(t-u)$ et $pcch(v-t')$ sont non vides, l'ensemble des chemins $P(t-t')$ est déterminé comme étant égal à l'union de l'ensemble $P(t-t')$ et de l'ensemble formé par $pcch(t-u)$, (u,v) et $pcch(v-t')$. Cette opération de détermination est donc réalisée à condition qu'il existe des
25 liaisons permettant de construire un ensemble $(pcch(t-u), (u,v), pcch(v-t'))$, c'est-à-dire à condition qu'il existe, dans l'ensemble E , des liaisons permettant de construire un nouveau chemin de communication entre les capteurs t et t' . Le nouveau chemin de communication est alors formé par le plus court chemin entre le capteur t et le dispositif de routage u , la liaison $(u-v)$ entre le dispositif u et le dispositif v , et le plus court chemin entre le dispositif v et le capteur t' .

30 Puis, l'ensemble E est déterminé comme étant égal à l'ensemble E courant moins l'ensemble formé par $pcch(t-u)$, (u,v) , et $pcch(v-t')$. En d'autres termes, les liaisons formant le nouveau chemin de communication sont retirées de l'ensemble des liaisons E , et ne pourront donc plus être utilisées pour construire un nouveau chemin de communication. Cela permet de construire un ensemble de chemins de communication disjoints.

La sous-opération S251 est répétée pour chaque capteur t' de l'ensemble $\tilde{T}$, c'est-à-dire pour chaque capteur t_1, t_2, t_3 , comme symbolisé par la flèche F251. Lorsque tous les capteurs t' de l'ensemble $\tilde{T}$ ont été sélectionnés, le procédé sort de la boucle F251.

5 L'opération S25 est répétée pour chaque capteur t du sous-ensemble T , comme symbolisé par la flèche F25. Lorsque tous les capteurs t du sous-ensemble T ont été sélectionnés, le procédé sort de la boucle F25.

10 Comme symbolisé par la flèche F2, l'étape S2 est répétée tant qu'il reste un dispositif de routage u du sous-ensemble $(V-T)$ qui n'appartient à aucun domaine X_i . Lorsqu'il ne reste plus de dispositif de routage u du sous-ensemble $(V-T)$ n'appartenant à aucun domaine X_i , le procédé passe à l'étape S3.

L'étape S2 peut être réalisée par l'algorithme ci-dessous :

15

20

25 (suite page suivante)

Tant qu'il existe $u \in V - T$ tel que $X_t^s = 0$

Pour tout $t \in T$

$$U_t = \{u \in V - T, X_t^s = 1\}$$

$$U = \cup_{t \in T} U_t$$

Pour tout $t \in T$

$$B(t) = (\Gamma(X_t) \cap (V - T)) - (U \cup (\cup_{t \in T} X_t))$$

$$B'(t) = B(t) - \cup_{t \in T} (B(t) \cap B'(t))$$

$$B(t) = B'(t)$$

5

$$X_t = X_t \cup B(t)$$

Pour tout $u \in X_t \cap (V - T) \quad X_t^s = 1$

$$\tilde{T} = T$$

Pour tout $t \in T$

Pour tout $t' \in \tilde{T}$

Prendre une arête $(u, v) \in E(X_t : X_{t'})$

Si $pccch(t - u) \neq \emptyset$ et $pccch(v - t') \neq \emptyset$ alors

$$P(t - t') = P(t - t') \cup (pccch(t - u) \cup (u, v) \cup pccch(v - t'))$$

10

$$E = E - (pccch(t - u) \cup (u, v) \cup pccch(v - t'))$$

A l'étape S3, l'ensemble des chemins de communication disjoints déterminé à l'étape S2 est utilisé pour configurer les dispositifs t, u du réseau de capteurs G . En particulier, l'ensemble de chemins de communication est mémorisé dans le capteur t ayant mis en œuvre le procédé.

15

Puis, un message contenant des informations relatives à l'ensemble des chemins disjoints est transmis, via le module d'émission-réception 2, aux dispositifs de routage u du réseau de capteurs G . Ainsi, les dispositifs de routage u ont connaissance des chemins qui peuvent être utilisés pour la communication entre les capteurs t , ce qui leur permet de router les messages transmis à travers le réseau de capteurs G .

20

Dans le cas où tous les capteurs t du réseau de capteurs mettent en œuvre le procédé, il n'est pas nécessaire de transmettre le message d'information aux autres capteurs t du réseau de capteurs, puisque ceux-ci ont déjà connaissance des chemins de communication qui peuvent être

utilisés entre les capteurs t . Dans le cas où seul un capteur t_1 du réseau de capteurs G met en œuvre le procédé, l'étape S3 comprend également une opération de transmission du message d'information depuis le capteur t_1 à destination des capteurs t_2 et t_3 .

Le procédé décrit ci-dessus permet de maximiser le nombre total de chemins disjoints qui relient les capteurs t_1 , t_2 , t_3 entre eux, c'est-à-dire de déterminer le plus grand nombre de chemins disjoints reliant les capteurs.

Le problème qui consiste à déterminer le nombre maximum de chemins disjoints (arêtes disjointes) entre des terminaux formant un sous-ensemble des nœuds d'un réseau est connu sous le nom de problème de Mader. L'invention propose une solution distribuée au problème de Mader.

Le procédé permet en outre, avec un algorithme de faible complexité, de donner un résultat approché au problème de Mader, qui est par exemple décrit dans le document de A. Frank « On a theorem of mader. Discrete Mathematics, 101 :49-57, 1992 ». L'utilisation d'un algorithme de faible complexité permet de mettre ce procédé en œuvre dans des capteurs classiques d'un réseau de capteurs.

Lorsque le procédé a été exécuté, chaque communication entre deux capteurs t_1 , t_2 , t_3 du réseau de capteurs est réalisée en utilisant un chemin de communication de l'ensemble de chemins de communication. Ce procédé itératif permet ainsi de maximiser la bande passante totale que pourront utiliser les capteurs t_1 , t_2 , t_3 pour communiquer, car l'ensemble des chemins maximise le nombre de chemins disjoints et qu'en conséquence le nombre de chemins utilisables à un instant donné est maximal.

L'utilisation de chemins disjoints permet en outre d'augmenter la sûreté de fonctionnement du réseau de capteurs G . En effet, l'utilisation de chemins disjoints permet d'éviter les risques de collision, donc les risques de non-transmission de données.

On décrit ci-dessous un exemple de réalisation des étapes S1 et S2 du procédé, appliqué au réseau de capteurs de la figure 1.

La figure 3 représente les ensembles X_{t_1} , X_{t_2} , X_{t_3} après l'étape S1. L'ensemble X_{t_1} , qui représente le domaine réseau du capteur t_1 , contient uniquement le capteur t_1 . De manière similaire, l'ensemble X_{t_2} , qui représente le domaine réseau du capteur t_2 , contient uniquement le capteur t_2 , et l'ensemble X_{t_3} , qui représente le domaine réseau du capteur t_3 , contient uniquement le capteur t_3 .

La figure 3 représente également les ensembles $B(t_1)$, $B(t_2)$ et $B(t_3)$ après une itération de l'opération S23 pour chaque capteur t_1 , t_2 , t_3 . L'ensemble $B(t_1)$, des dispositifs de routage voisins du capteur t_1 , contient les dispositifs de routage u_1 et u_3 , qui sont directement reliés au capteur t_1 , respectivement par les liaisons (t_1, u_1) et (t_1, u_3) . De manière similaire, l'ensemble $B(t_2)$, des dispositifs de routage voisins du capteur t_2 , contient les dispositifs de routage u_5 et u_7 , qui sont directement reliés au capteur t_2 , respectivement par les liaisons (t_2, u_5) et (t_2, u_7) , et l'ensemble $B(t_3)$,

des dispositifs de routage voisins du capteur t_3 , contient les dispositifs de routage u_1 , u_4 et u_7 , qui sont directement reliés au capteur t_3 , respectivement par les liaisons (t_3, u_1) , (t_3, u_4) et (t_3, u_7) .

La figure 4 représente les ensembles $B'(t_1)$, $B'(t_2)$ et $B'(t_3)$ après une itération de l'opération S23 pour chaque capteur t_1 , t_2 , t_3 . Dans l'exemple représenté, le capteur t_3 a été sélectionné en premier. Ainsi, l'ensemble $B'(t_3)$ est égal à l'ensemble $B(t_3)$ de la figure 3.

Le capteur t_2 a été sélectionné en deuxième. L'ensemble $B'(t_2)$ a donc été déterminé comme étant égal à l'ensemble $B(t_2)$ moins l'ensemble $B(t_3)$. En conséquence, le dispositif de routage u_7 , qui appartenait à l'ensemble $B(t_3)$ au moment de la détermination, a été retiré de l'ensemble $B(t_2)$ pour obtenir l'ensemble $B'(t_2)$.

Le capteur t_1 a été sélectionné en troisième. De manière similaire, l'ensemble $B'(t_1)$ a donc été déterminé comme étant égal à l'ensemble $B(t_1)$ moins l'ensemble $B(t_3)$ et moins l'ensemble $B(t_2)$. En conséquence, le dispositif de routage u_1 , qui appartenait à l'ensemble $B(t_3)$ au moment de la détermination, a été retiré de l'ensemble $B(t_1)$ pour obtenir l'ensemble $B'(t_1)$.

La figure 5 représente les ensembles X_{t_1} , X_{t_2} et X_{t_3} après une itération de l'opération S23 pour chaque capteur t_1 , t_2 , t_3 . L'ensemble X_{t_1} est déterminé comme étant égal à l'union des ensembles X_{t_1} et $B(t_1)$, après que l'ensemble $B(t_1)$ ait été défini comme étant égal à l'ensemble $B'(t_1)$. Ainsi, à ce stade, l'ensemble $X(t_1)$ contient le capteur t_1 qu'il contenait initialement, ainsi que le dispositif de routage u_3 contenu dans l'ensemble $B(t_1)$. De manière similaire, l'ensemble X_{t_2} contient le capteur t_2 et le dispositif de routage u_5 , et l'ensemble X_{t_3} contient le capteur t_3 et les dispositifs de routage u_1 , u_4 et u_7 .

Les figures 5 à 7 représentent le déroulement de deux itérations de l'opération S25.

On considère que le capteur t_3 est sélectionné à l'opération S25, puis que le capteur t_2 et la liaison (u_4, u_5) sont sélectionnés à la sous-opération S251. La sélection de la liaison (u_4, u_5) est symbolisée sur la figure 5 par la mise en gras de cette liaison.

L'ensemble $P(t_3-t_2)$ est alors déterminé comme étant égal à l'union des ensembles $P(t_3-t_2) = \emptyset$ et $((\text{pcch}(t_3-u_4)=(t_3, u_4), (u_4, u_5), \text{pcch}(u_5-t_2)=(t_2, u_5)))$. L'ajout du chemin $((t_3, u_4), (u_4, u_5), (t_2, u_5))$ dans l'ensemble $P(t_3-t_2)$ est symbolisé sur la figure 6 par la représentation des liaisons (t_3, u_4) et (t_2, u_5) en pointillés. Puis, les liaisons (t_3, u_4) , (u_4, u_5) , et (t_2, u_5) sont supprimées de l'ensemble E , comme représenté sur la figure 7, pour ne pas être réutilisées.

Lors de l'itération suivante de la sous-opération S251, on considère que le capteur t_1 et la liaison (t_1, u_1) sont sélectionnés. La sélection de la liaison (t_1, u_1) est symbolisée sur la figure 5 par la mise en gras de cette liaison. L'ensemble $P(t_3, t_1)$ est alors déterminé comme étant égal à l'ensemble $((t_3, u_1), (t_1, u_1))$. L'ajout du chemin $((t_3, u_1), (t_1, u_1))$ dans $P(t_3-t_1)$ est symbolisé sur la

figure 6 par la représentation de la liaison (t_3, u_1) en pointillés. Puis, les liaisons (t_3, u_1) et (t_1, u_1) sont supprimées de l'ensemble E, comme représenté sur la figure 7.

Lors de l'itération suivante de l'opération S25, le capteur t_2 est sélectionné. Puis le capteur t_1 et la liaison (t_1, t_2) sont sélectionnés à la sous-opération S251. La sélection de la liaison (t_1, t_2) est symbolisée sur la figure 5 par la mise en gras de cette liaison. L'ensemble $P(t_2 - t_1)$ est alors déterminé comme étant égal à l'union de l'ensemble $P(t_2 - t_1) = \emptyset$ et de l'ensemble $(pcch(t_2 - t_1) = (t_2, t_1))$. Puis, la liaison (t_2, t_1) est supprimée de l'ensemble E, comme représenté sur la figure 7.

Le procédé continu ensuite de manière similaire, par itération. Les figures 8 à 10 représentent le déroulement de la dernière itération de l'étape S2.

La figure 8 montre que, à ce stade, le domaine X_{t_1} comprend le capteur t_1 et le dispositif de routage u_3 , le domaine X_{t_2} comprend uniquement le capteur t_2 , et le domaine X_{t_3} comprend le capteur t_3 et le dispositif de routage u_7 . En outre, la frontière $B(t_1)$ est égale à l'ensemble vide, la frontière $B(t_2)$ comprend le dispositif de routage u_7 , et la frontière $B(t_3)$ comprend les dispositifs de routage u_4 et u_6 .

La figure 9 montre que, lors d'une itération de l'opération S25, le capteur t_3 a été sélectionné. Puis, le capteur t_1 et la liaison (u_3, u_4) ont été sélectionnés à S251. A ce stade, il n'y a plus, dans l'ensemble E, de liaison entre le capteur t_3 et le dispositif de routage u_4 . Un nouveau chemin entre les capteurs t_3 et t_1 ne peut donc pas être construit.

A l'itération suivante de la sous-opération S251, le capteur t_2 et la liaison (t_2, u_7) sont sélectionnés. Le chemin $((t_3, u_7), (u_7, t_2))$ est alors ajouté dans l'ensemble $P(t_3, t_2)$ des chemins entre les capteurs t_3 et t_2 .

La figure 10 représente l'ensemble final des chemins disjoints. Cet ensemble comprend le chemin (t_1, t_2) entre les capteurs t_1 et t_2 , le chemin $((t_1, u_1), (u_1, t_3))$ entre les capteurs t_1 et t_3 , et les chemins $((t_2, u_5), (u_5, u_4), (u_4, t_3))$ et $((t_2, u_7), (u_7, t_3))$ entre les capteurs t_2 et t_3 .

Ces quatre chemins de communication sont alors mémorisés dans les différents dispositifs t, u du réseau de capteurs G et seront les seuls chemins de communication utilisés pour les communications entre les capteurs t_1, t_2 et t_3 . La bande passante du réseau de capteurs G est ainsi optimisée, et la sécurité de la transmission est assurée par l'utilisation de chemins de communication disjoints.

Bien entendu, la présente invention ne se limite pas aux formes de réalisation décrites ci-avant à titre d'exemples ; elle s'étend à d'autres variantes.

Par exemple, le procédé peut être mis en œuvre dans des entités autres que des capteurs, par exemple dans des actionneurs, ou autres types de terminaux. Le réseau informatique n'est donc pas nécessairement un réseau de capteurs, mais peut être, par exemple, un réseau IP utilisant un

protocole de type Multiprotocol Label Switching (MPLS), ou encore un réseau ad-hoc, un réseau véhiculaire, un réseau wifi maillé, un réseau de pairs, etc.

En outre, le calcul des chemins peut être réalisé dans une entité physiquement distincte de l'entité communicante qui utilise ce chemin.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement de données pour la communication de données dans un réseau (G) comprenant un ensemble de dispositifs ($t_1, t_2, t_3, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$) formant nœuds dudit réseau et un ensemble de liaisons ($((t_1, u_1), (t_1, u_3), (t_1, t_2), (t_2, u_5), (t_2, u_7), (t_3, u_1), (t_3, u_4), (t_3, u_7), (u_1, u_2), (u_2, u_5), (u_2, u_6), (u_3, u_4), (u_3, u_6), (u_4, u_5), (u_6, u_7))$), chaque liaison reliant deux desdits dispositifs, le procédé comprenant des étapes :
- détermination d'un ensemble de chemins de communication disjoints entre les dispositifs, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons,
 - configuration desdits dispositifs pour que chaque communication entre deux desdits dispositifs utilise un chemin de communication dudit ensemble de chemins de communication.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble des dispositifs du réseau comprend un sous-ensemble (T) de dispositifs émetteurs / destinataires de données et dans lequel l'étape de détermination de l'ensemble de chemins de communication est mise en œuvre par les dispositifs dudit sous-ensemble (T), chaque dispositif dudit sous-ensemble utilisant pour cette détermination des informations représentatives de la topologie du réseau dans l'environnement de ce dispositif,
3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel lesdites informations comprennent la définition d'un domaine réseau auquel appartient un dispositif dudit sous-ensemble.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, dans lequel l'ensemble des dispositifs du réseau comprend un sous-ensemble (T) de dispositifs émetteurs / destinataires de données et dans lequel lors de l'étape de détermination, chaque dispositif dudit sous-ensemble (T) détermine un domaine réseau auquel il appartient, les domaines réseaux déterminés étant disjoints et comprenant chacun un seul dispositif dudit sous-ensemble (T), puis on détermine des chemins disjoints ayant une extrémité dans un des domaines réseaux disjoints déterminés et une autre extrémité dans un autre des domaines réseaux disjoints.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de détermination de l'ensemble de chemins de communication est mise en œuvre dans un desdits

dispositifs (t_1, t_2, t_3), l'étape de configuration comportant une opération de transmission par ledit dispositif, à destination d'au moins un autre dispositif du réseau, d'un message contenant des informations relatives à l'ensemble de chemins de communication.

- 5 6. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de détermination de l'ensemble de chemins de communication comporte une opération de sélection de deux dispositifs parmi lesdits dispositifs du réseau, et une opération de détermination d'un nouveau chemin de communication entre les deux dispositifs sélectionnés.
- 10 7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'opération de détermination d'un nouveau chemin de communication entre les deux dispositifs sélectionnés comprend la sélection d'une liaison de l'ensemble de liaisons, et la construction d'un nouveau chemin de communication en utilisant :
 - ladite liaison ((u,v)) sélectionnée,
 - 15 -un plus court chemin ($pcch(t-u)$) entre un desdits deux dispositifs sélectionnés et une première extrémité de ladite liaison, et
 - un plus court chemin ($pcch(v-t')$) entre la deuxième extrémité de ladite liaison et l'autre desdits deux dispositifs sélectionnés.
- 20 8. Programme informatique comportant des instructions pour la mise en œuvre du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 lorsque ce programme est exécuté par un processeur.
- 25 9. Dispositif, conçu pour être utilisé dans un réseau (G) comprenant un ensemble de dispositifs ($t_1, t_2, t_3, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$) formant nœuds dudit réseau et un ensemble de liaisons ($((t_1, u_1), (t_1, u_3), (t_1, t_2), (t_2, u_5), (t_2, u_7), (t_3, u_1), (t_3, u_4), (t_3, u_7), (u_1, u_2), (u_2, u_5), (u_2, u_6), (u_3, u_4), (u_3, u_6), (u_4, u_5), (u_6, u_7))$), chaque liaison reliant deux desdits dispositifs, ledit dispositif étant configuré pour :
 - déterminer un ensemble de chemins de communication à utiliser entre les dispositifs du réseau (G), chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de l'ensemble de liaisons,
 - 30 - configurer les dispositifs du réseau (G) pour que chaque communication entre deux desdits dispositifs utilise un chemin de communication dudit ensemble de chemins de communication.
- 35 10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que le dispositif est un capteur (t_1) configuré pour transmettre des données de mesure, correspondant à une mesure réalisée par le capteur, à au moins un autre capteur dudit réseau,

ledit capteur étant en outre configuré pour que chaque communication entre ledit capteur et un autre capteur dudit réseau utilise au moins un chemin de communication dudit ensemble de chemins de communication.

- 5 11. Réseau (G) comprenant un ensemble de dispositifs ($t_1, t_2, t_3, u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$) et un ensemble de liaisons ($((t_1, u_1), (t_1, u_3), (t_1, t_2), (t_2, u_5), (t_2, u_7), (t_3, u_1), (t_3, u_4), (t_3, u_7), (u_1, u_2), (u_2, u_5), (u_2, u_6), (u_3, u_4), (u_3, u_6), (u_4, u_5), (u_6, u_7))$), chaque liaison reliant deux desdits dispositifs, au moins un desdits dispositifs étant configuré pour déterminer un ensemble de chemins de communication entre les dispositifs, chaque chemin de communication comprenant une ou plusieurs liaison(s) de

10 l'ensemble de liaisons, lesdits dispositifs étant configurés pour que chaque communication entre deux desdits dispositifs utilise un chemin de communication dudit ensemble de chemins de communication.
12. Réseau (G) selon la revendication 11, caractérisée en ce que l'ensemble de dispositifs comprend des capteurs (t_1, t_2, t_3) et des dispositifs de routage ($u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7$).

15
13. Réseau de capteurs selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit au moins un dispositif configuré pour déterminer l'ensemble de chemins de communication est un capteur et est en outre configuré pour transmettre, à destination d'au moins un dispositif de routage, un message contenant des

20 informations relatives à l'ensemble de chemins de communication.
14. Réseau de capteurs selon la revendication 13, caractérisé en ce que ledit au moins un capteur est en outre configuré pour sélectionner deux capteurs parmi lesdits capteurs du réseau, et pour déterminer un nouveau chemin de communication entre les deux capteurs sélectionnés.
- 25 15. Réseau de capteurs selon la revendication 14, caractérisé en ce que ledit au moins un capteur est en outre configuré pour sélectionner une liaison de l'ensemble de liaisons, et pour construire un nouveau chemin de communication à partir de ladite liaison ($((u, v))$ sélectionnée, d'un plus court chemin ($pcch(t-u)$) entre un desdits deux capteurs sélectionnés et une première extrémité de ladite

30 liaison, et d'un plus court chemin ($pcch(v-t')$) entre la deuxième extrémité de ladite liaison et l'autre desdits deux capteurs sélectionnés.

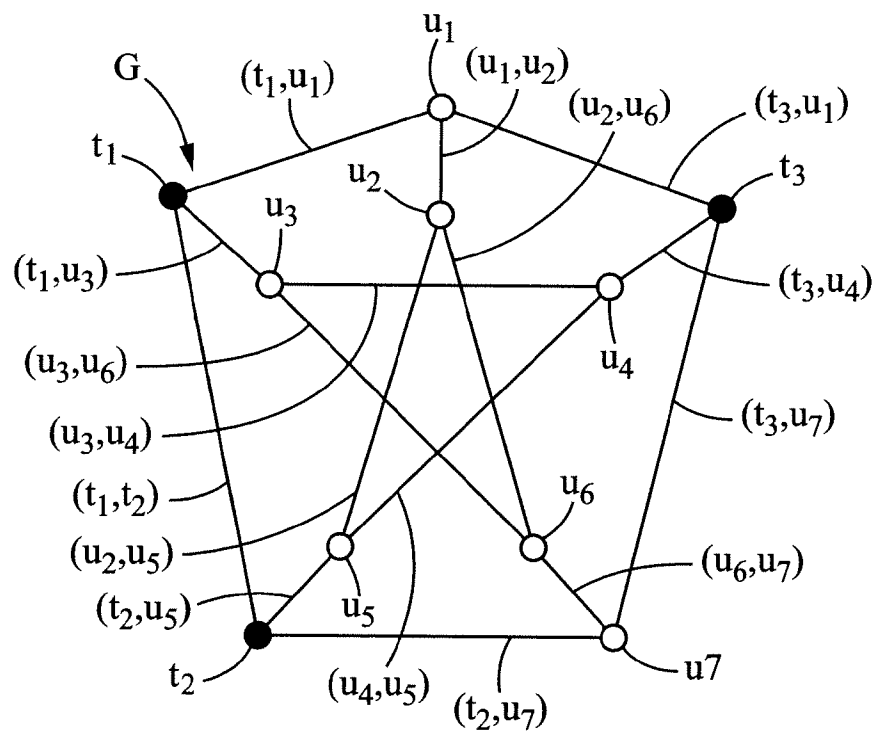


FIG. 1

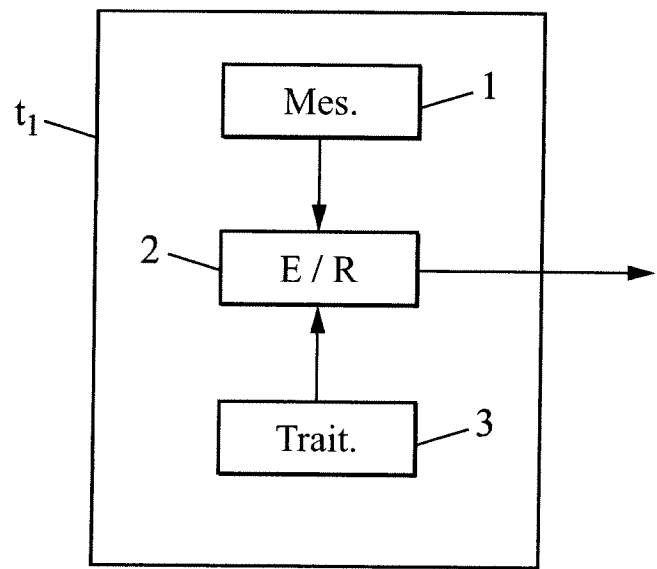


FIG. 11

2/6

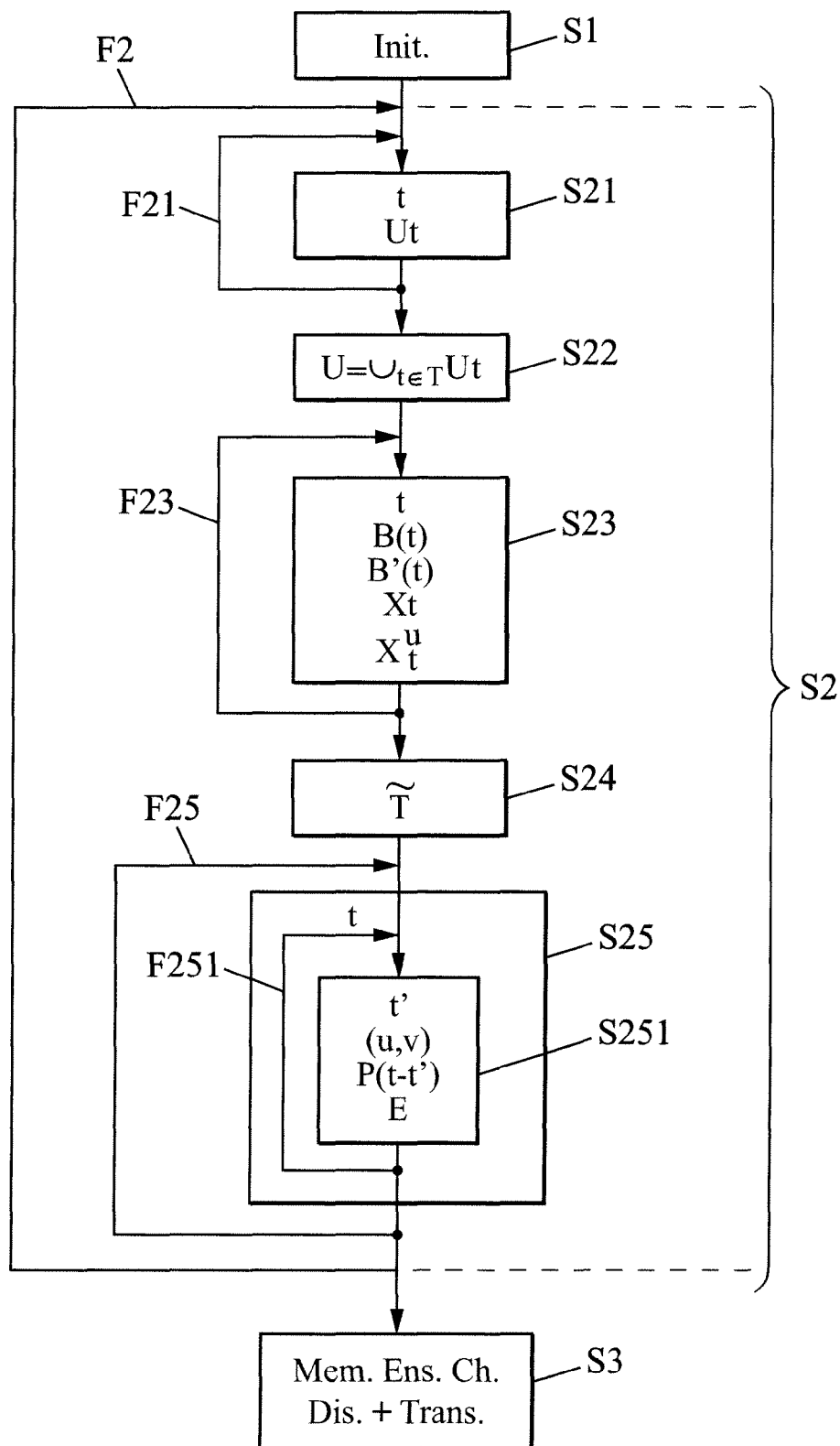


FIG. 2

3/6

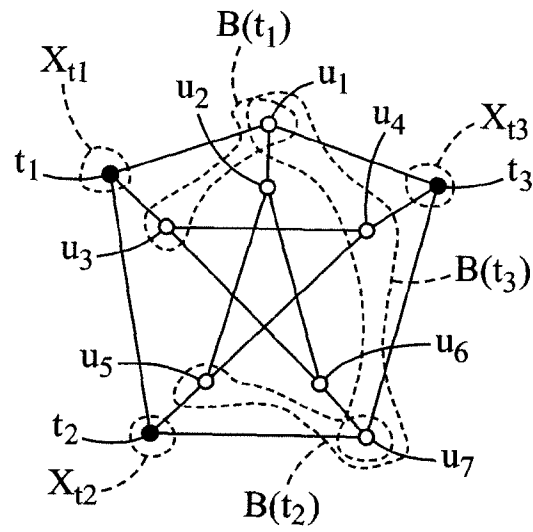


FIG. 3

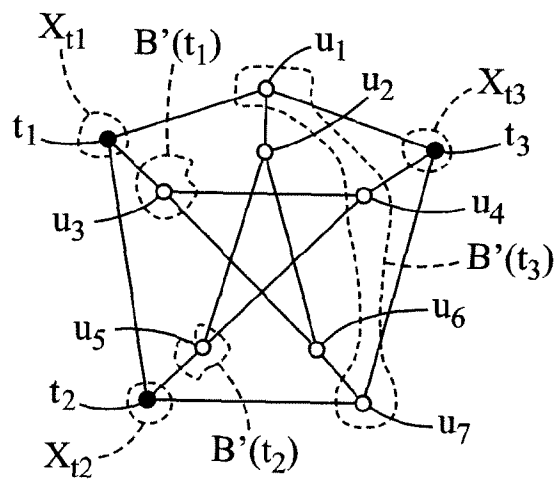


FIG. 4

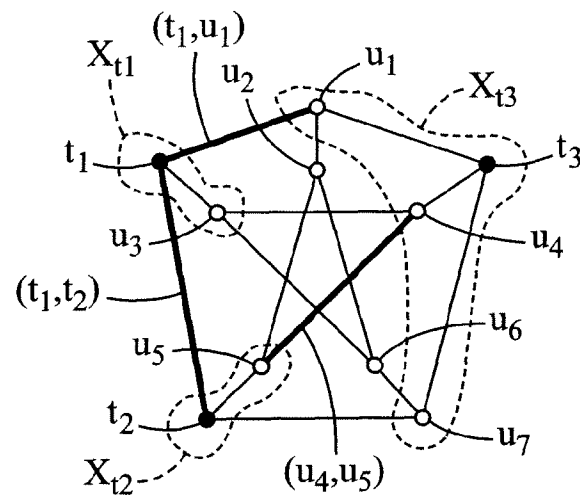


FIG. 5

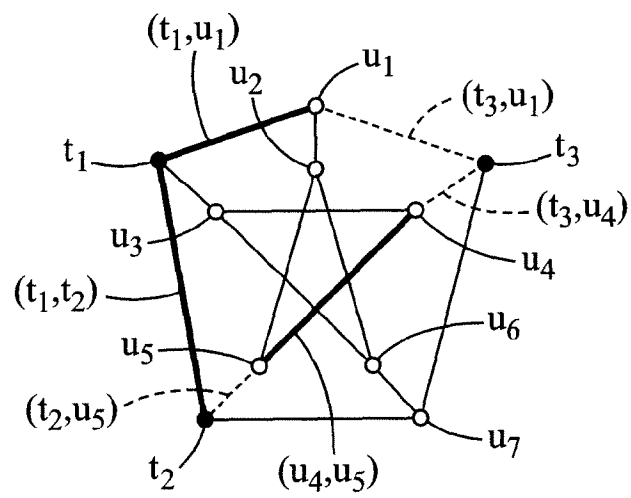


FIG. 6

5/6

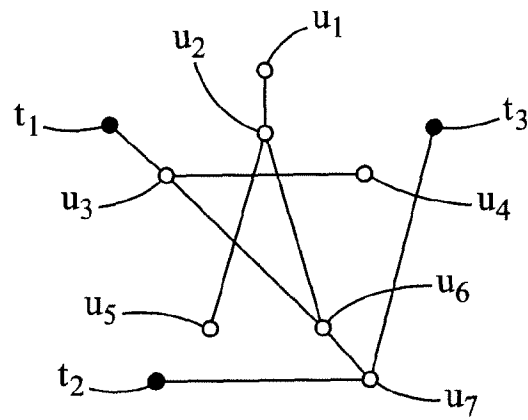


FIG. 7

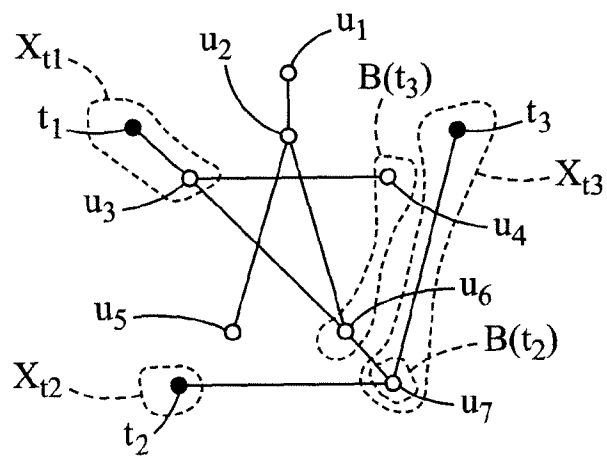


FIG. 8

6/6

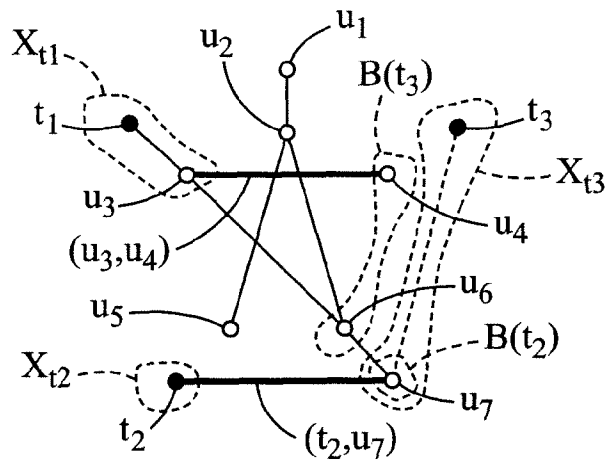


FIG. 9

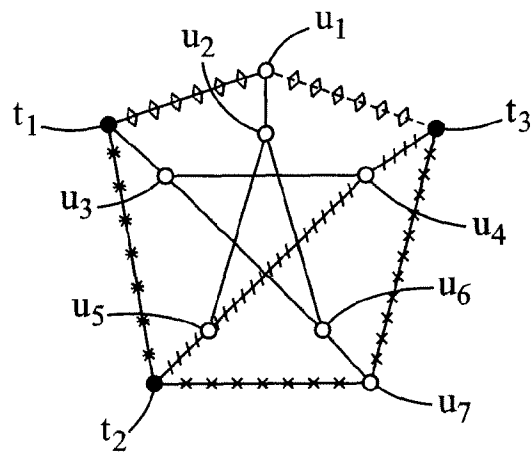


FIG. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2012/050712

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L12/56 H04W84/18
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04L H04W

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/228575 A1 (THUBERT PASCAL [FR] ET AL) 10 September 2009 (2009-09-10) paragraph [0001] - paragraph [0002] paragraph [0012] - paragraph [0013] paragraph [0023] - paragraph [0031] page 4, right-hand column, line 4 - line 6 page 5, left-hand column, line 3 - line 7 paragraph [0037] - paragraph [0038] paragraph [0044] paragraph [0049] - paragraph [0050] -----	1-6,8-14
X	US 2005/099983 A1 (NAKAMURA NOBUYUKI [JP] ET AL) 12 May 2005 (2005-05-12) abstract paragraph [0001] - paragraph [0013] paragraph [0056] - paragraph [0057] paragraph [0232] - paragraph [0233] figure 39 ----- -/-	1-6,8-14



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 May 2012

Date of mailing of the international search report

31/05/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Martinozzi, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2012/050712

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MASIP-BRUIX ET AL: "Research challenges in QoS routing", COMPUTER COMMUNICATIONS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV, AMSTERDAM, NL, vol. 29, no. 5, 6 March 2006 (2006-03-06), pages 563-581, XP025089784, ISSN: 0140-3664, DOI: DOI:10.1016/J.COMCOM.2005.06.008 [retrieved on 2006-03-06] page 568, right-hand column, line 29 - line 32 paragraph [02.3] -----	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2012/050712

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009228575	A1	10-09-2009	NONE
US 2005099983	A1	12-05-2005	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2012/050712

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H04L12/56 H04W84/18 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H04L H04W		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2009/228575 A1 (THUBERT PASCAL [FR] ET AL) 10 septembre 2009 (2009-09-10) alinéa [0001] - alinéa [0002] alinéa [0012] - alinéa [0013] alinéa [0023] - alinéa [0031] page 4, colonne de droite, ligne 4 - ligne 6 page 5, colonne de gauche, ligne 3 - ligne 7 alinéa [0037] - alinéa [0038] alinéa [0044] alinéa [0049] - alinéa [0050] ----- -/-	1-6,8-14
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 23 mai 2012		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 31/05/2012
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Martinozzi, A

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2005/099983 A1 (NAKAMURA NOBUYUKI [JP] ET AL) 12 mai 2005 (2005-05-12) abrégé alinéa [0001] - alinéa [0013] alinéa [0056] - alinéa [0057] alinéa [0232] - alinéa [0233] figure 39	1-6,8-14
A	----- MASIP-BRUIN X ET AL: "Research challenges in QoS routing", COMPUTER COMMUNICATIONS, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS BV, AMSTERDAM, NL, vol. 29, no. 5, 6 mars 2006 (2006-03-06), pages 563-581, XP025089784, ISSN: 0140-3664, DOI: DOI:10.1016/J.COMCOM.2005.06.008 [extrait le 2006-03-06] page 568, colonne de droite, ligne 29 - ligne 32 alinéa [02.3] -----	1-15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2012/050712

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009228575	A1	10-09-2009	AUCUN
US 2005099983	A1	12-05-2005	AUCUN