

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication : 2 980 939

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : 11 58828

51 Int Cl<sup>8</sup> : H 04 L 29/08 (2013.01), H 04 L 12/56

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 30.09.11.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.04.13 Bulletin 13/14.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme — FR et INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES Etablissement public — FR.

72 Inventeur(s) : KOUNTOURIS APOSTOLOS, ERDENE-OCHIR OCHIRKHAND, MINIER MARINE et VALOIS FABRICE.

73 Titulaire(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme, INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUEES Etablissement public.

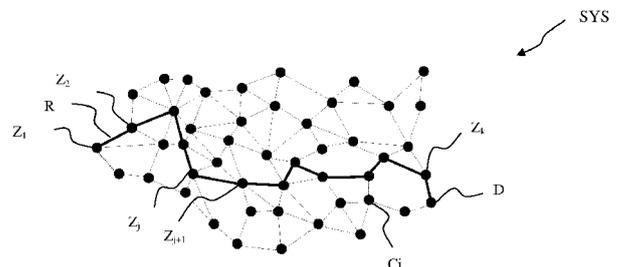
74 Mandataire(s) : FRANCE TELECOM Société anonyme.

54 PROTOCOLE DE ROUTAGE A SAUT MULTIPLES.

57 L'invention se rapporte à un procédé de calcul d'une route (R) pour un transfert de données entre un noeud source ( $Z_1$ ) et un noeud destination (D) via au moins un noeud intermédiaire (Ci) dans un réseau comportant une pluralité de noeuds, comportant, pour un noeud courant ( $Z_j$ ) de ladite route, une étape de détermination parmi la pluralité de noeuds d'un ensemble de noeuds voisins dudit noeud courant.

Selon l'invention, ce procédé est adapté à sélectionner une loi de sélection parmi un ensemble de lois de sélection et à choisir un noeud intermédiaire ( $Z_{j+1}$ ) suivant le noeud courant ( $Z_j$ ) par application de la loi sélectionnée à tout ou partie des noeuds de l'ensemble déterminé pour le noeud courant.

L'invention se rapporte également à un dispositif (Ci) formant noeud mettant en oeuvre le procédé de calcul d'une route.



FR 2 980 939 - A1



### **Protocole de routage à saut multiples**

L'invention se rapporte au domaine des réseaux de communication sans infrastructure et plus particulièrement aux protocoles de routage à sauts multiples utilisés dans ces réseaux.

De façon connue, un réseau sans infrastructure, appelé également réseau adhoc, est un réseau comportant des nœuds, par exemple des capteurs, connectés de proche en proche, sans contrôle central.

Dans un protocole de routage à sauts multiples, un nœud source qui ne peut atteindre directement un nœud destination, en raison par exemple de contraintes de distance ou de ressources, utilise des nœuds intermédiaires pour relayer le message. Ainsi, le nœud source envoie le message à un de ses voisins, qui relaie à son tour le message à un de ses voisins, et ainsi de suite jusqu'à ce que la destination finale soit atteinte. Les nœuds interagissent seulement avec leurs voisins directs et prennent des décisions localisées de routage. Ils ne connaissent pas la topologie globale du réseau.

Ce protocole fonctionne en deux étapes. Lors d'une première étape, les routes sont calculées. Puis, dans une deuxième étape, les paquets de données sont acheminés par les routes calculées. Les routes sont périodiquement recalculées pour prendre en compte des éventuels changements de topologie du réseau.

Le protocole de routage Greedy Forwarding, décrit par exemple dans un document de Stojmenovic, Ivan, intitulé "Position based routing in ad hoc networks" publié dans "IEEE Communications magazine", est un exemple de protocole de routage à sauts multiples. Dans ce protocole de routage, les routes sont calculées par construction incrémentale. Une métrique calculée par un nœud sur la base des informations fournies par les nœuds voisins, permet de sélectionner le nœud suivant.

Plus précisément, le protocole de routage Greedy Forwarding utilise deux types de paquets d'information : HELLO et DATA. Les paquets HELLO sont des messages de signalisation. Les paquets DATA permettent de transmettre les données. Chaque nœud du réseau connaît son propre emplacement géographique et celui de la destination finale. Chaque nœud échange avec ses voisins directs son information de localisation en envoyant périodiquement des paquets HELLO. Ainsi, chaque nœud connaît la localisation de ses voisins. Un nœud, ayant des données à transmettre, utilise les informations de localisation reçues de ses voisins pour sélectionner le nœud voisin le plus proche de la destination finale et transmet au nœud sélectionné, les données dans un ou plusieurs paquets DATA.

Ce protocole est très performant notamment en termes de délais, de taux de livraison et de consommation.

Cependant, il est très sensible à la falsification des informations utilisées pour calculer la métrique. Par exemple, les paquets HELLO transmis par un nœud malveillant contiennent une information de localisation erronée, par exemple proche de la destination finale. Sur la base de cette information, ce nœud malveillant est donc systématiquement choisi parmi les nœuds voisins d'un nœud cherchant à déterminer un nœud suivant. Ledit nœud transmet alors systématiquement à ce nœud malveillant, les paquets DATA qu'il doit transmettre mais le nœud malveillant ne retransmet pas les paquets DATA au nœud suivant. Ainsi, il suffit d'un seul voisin malveillant qui attire tout le trafic d'un nœud pour obtenir une déconnexion totale entre un nœud source et le nœud de destination.

Il existe donc un besoin d'un protocole de routage simple et robuste aux tentatives de perturbation du fonctionnement du réseau par des pratiques de piratage.

L'invention vient améliorer la situation.

A cet effet, l'invention se rapporte à un procédé de calcul d'une route pour un transfert de données entre un nœud source et un nœud destination dans un réseau comportant une pluralité de nœuds, le procédé comportant, pour un nœud courant de ladite route, une étape de détermination parmi la pluralité de nœuds d'un ensemble de nœuds voisins dudit nœud courant, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :

- une étape de sélection d'une loi de sélection parmi un ensemble de lois de sélection;
- une étape de choix d'un nœud suivant ledit nœud courant dans ladite route par application de la loi sélectionnée à tout ou partie des nœuds de l'ensemble déterminé pour ledit nœud courant.

Lors du calcul d'une route entre un nœud source et un nœud destinataire, un nœud courant de la route sélectionne le nœud suivant parmi les nœuds voisins. Ce nœud suivant sélectionné est soit le nœud destinataire s'il est accessible directement par le nœud courant, soit un nœud intermédiaire choisi dans l'ensemble de nœuds voisins du nœud courant.

Ce nœud suivant est sélectionné par application d'une loi de sélection choisie parmi plusieurs lois. Le choix du nœud suivant varie en fonction de la loi sélectionnée. Ainsi, il est difficile pour un fraudeur de prévoir le nœud choisi par un nœud courant, et en conséquence la route empruntée par les données. Le comportement du système de routage n'est pas prévisible. Ainsi, le protocole de routage est robuste au piratage.

Selon un mode de réalisation du procédé de calcul d'une route, la loi de sélection est sélectionnée de façon aléatoire.

Le choix aléatoire d'une loi de sélection parmi un ensemble de lois empêche de prévoir quelle sera la loi sélectionnée et donc de connaître par avance les nœuds de la route. Le système est ainsi plus résistant au piratage.

Selon un autre mode de réalisation du procédé de calcul d'une route, utilisé seul ou en complément du mode de réalisation précédent, l'ensemble de lois comporte au moins une loi de sélection aléatoire et au moins une loi de sélection déterministe.

Une loi de sélection aléatoire permet d'obtenir un résultat différent à chaque sélection d'un nœud suivant et ainsi de varier les routes sur lesquelles transitent les messages. Ainsi avec l'utilisation d'une loi de sélection aléatoire, il n'est pas possible de déterminer par avance la route empruntée par un message de données.

Une loi de sélection déterministe est une loi permettant de sélectionner un nœud parmi un ensemble de nœuds selon un critère prédéterminé. Une telle loi de sélection est, par exemple, une loi choisissant parmi le voisinage d'un nœud, le nœud le plus proche géographiquement de la destination. Avec une telle loi, les nœuds progressent vers la destination toujours de la même manière.

L'alternance de lois de sélection aléatoires et de lois déterministes permet globalement à un nœud de faire progresser les messages qu'il reçoit vers le nœud destination tout en rendant le processus de sélection du nœud suivant imprévisible.

Selon un autre mode de réalisation du procédé de calcul d'une route, la loi de sélection est sélectionnée en fonction d'au moins une valeur représentative de la probabilité de présence d'un nœud malveillant dans ledit ensemble.

Une valeur représentative de la probabilité de présence d'un nœud malveillant dans l'ensemble des voisins d'un nœud courant, calculée par un nœud en fonction de ses voisins permet de préjuger de la présence potentielle de nœuds malveillants parmi les voisins. La valeur calculée est ensuite comparée à un seuil et le choix de la loi de sélection est effectué en fonction du résultat de cette comparaison. Par exemple, si cette valeur est supérieure à un seuil prédéterminé, la loi de sélection sélectionnée est par exemple une loi de sélection aléatoire, par exemple une loi de sélection uniforme. En revanche, si cette valeur est inférieure audit seuil, une loi de sélection déterministe peut être choisie, par exemple une loi de sélection choisissant le nœud voisin le plus proche de la destination, permettant ainsi une progression maximale des messages vers leur destination.

Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de calcul d'une route comporte en outre:

- une étape de détermination d'un premier et d'un deuxième sous ensemble de nœuds, ledit premier sous ensemble étant constitué de nœuds dudit ensemble et le deuxième sous ensemble étant constitué de nœuds dudit premier sous ensemble,
- une étape de vérification d'un premier critère de confiance relatif audit premier sous ensemble;

et la loi sélectionnée est appliquée audit premier sous ensemble ou audit deuxième sous ensemble en fonction du résultat de la vérification du premier critère de confiance.

Le premier critère de confiance permet de déterminer si un nœud malveillant est potentiellement présent parmi un premier sous ensemble de nœuds voisins. Si la probabilité de présence d'un nœud malveillant parmi les nœuds du premier sous ensemble est supérieure à un seuil prédéterminé, la loi sélectionnée est appliquée aux nœuds du premier sous ensemble, sinon, elle est appliquée aux nœuds du deuxième sous ensemble. Le premier sous ensemble contient le deuxième sous ensemble. Si la probabilité de présence d'un nœud malveillant parmi les nœuds du premier sous ensemble est supérieure à un seuil prédéterminé, la loi sélectionnée est appliquée à un plus grand nombre de nœuds. Ainsi, la probabilité de choisir un nœud malveillant est plus faible. L'application de la loi sélectionnée au deuxième sous ensemble permet d'augmenter la vitesse de transfert des messages.

Selon une caractéristique particulière de ce mode de réalisation, la détermination du premier et/ou du deuxième sous ensemble comporte une étape de sélection d'au moins un nœud en fonction d'un critère de distance entre le nœud et le nœud destination.

La distance entre deux nœuds est une métrique simple à calculer. L'utilisation de la distance permet de déterminer des nœuds plus proches de la destination.

Le premier sous ensemble de nœuds est par exemple constitué des nœuds voisins plus proches de la destination que le nœud courant. Le deuxième sous ensemble est par exemple constitué de la moitié des nœuds les plus proches de la destination.

Lorsque le premier critère de confiance est vérifié, c'est-à-dire qu'un nœud n'est considéré comme malveillant, un nœud suivant un nœud courant est sélectionné parmi les nœuds du deuxième sous ensemble, c'est-à-dire parmi les nœuds les plus proches du nœud de destination.

Selon une autre caractéristique, le premier critère de confiance est vérifié si la valeur absolue de la différence entre d'une part une distance médiane entre les nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud destination et d'autre part une distance moyenne entre lesdits nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud de destination est inférieure à une valeur seuil prédéterminé.

Lorsque la différence entre une distance médiane et une distance moyenne calculées entre les nœuds d'un ensemble et un nœud destination est inférieure à une valeur seuil prédéterminé, cela signifie que la répartition des nœuds n'est pas symétrique. Ce principe connu est appliqué ici pour détecter la présence d'un nœud malveillant.

Un nœud malveillant indiquera une position géographique erronée, par exemple une position plus proche du nœud destination de façon à être sélectionné par le nœud courant. La comparaison de la distance médiane et de la distance moyenne permet de déterminer si un ensemble de nœuds peut être ou non considéré comme fiable.

Si la valeur absolue de la différence entre la distance médiane entre les nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud de destination, c'est-à-dire la distance entre le barycentre des nœuds du premier sous ensemble et le nœud destination, et la distance moyenne entre lesdits nœuds dudit

premier sous ensemble et le nœud de destination est inférieure à une valeur seuil prédéterminée, le premier sous ensemble de nœuds est considéré comme fiable et le nœud intermédiaire suivant est sélectionné parmi le deuxième sous ensemble de nœuds.

Dans le cas contraire, une suspicion de fraude pèse sur les nœuds du premier sous ensemble voisins et le nœud suivant est sélectionné parmi le premier sous ensemble. La sélection d'un nœud parmi le premier sous ensemble, plus grand que le deuxième sous ensemble augmente l'imprévisibilité du choix.

Selon un mode en réalisation particulier, utilisé seul ou en combinaison avec un autre mode, le procédé de calcul d'une route comporte en outre :

- une étape de détermination d'un premier et d'un deuxième sous ensemble de nœuds, ledit premier sous ensemble étant constitué de nœuds dudit ensemble et le deuxième sous ensemble étant constitué de nœuds dudit premier sous ensemble,
  - une étape de vérification d'un deuxième critère de confiance relatif à un dit sous ensemble;
- et la loi est sélectionnée en fonction du résultat de la vérification d'un deuxième critère de confiance.

Un deuxième critère de confiance est utilisé pour déterminer si un nœud malveillant est présent parmi un sous ensemble de nœuds. En fonction du résultat, la loi sélectionnée appliquée est différente, par exemple une loi de sélection permettant une progression de message plus rapide ou au contraire une loi de sélection plus aléatoire.

Le deuxième critère de confiance permet de déterminer si l'ensemble des nœuds considéré doit être considéré comme résilient ou non résilient. Si la probabilité qu'un nœud malveillant est inférieure à un seuil prédéterminé, une loi de sélection permettant de faire progresser les messages plus vite vers la destination peut être appliquée. Au contraire, si la probabilité qu'un nœud malveillant est supérieure à ce seuil, une loi aléatoire est appliquée. Lors de l'application d'une loi aléatoire, le nœud malveillant a une chance réduite d'être choisi.

Selon une caractéristique particulière de ce mode de réalisation, la loi sélectionnée est pondérée par au moins un coefficient de pondération si le deuxième critère de confiance est vérifié et la loi sélectionnée est équiprobable si ledit deuxième critère n'est pas vérifié.

En fonction de la vérification du deuxième critère, la loi sélectionnée est une loi équiprobable ou non. L'application de coefficients de pondération permet d'augmenter la probabilité de certains nœuds et/ou de diminuer la probabilité d'autres nœuds, et ainsi de favoriser la sélection de certains nœuds, par exemple les nœuds le plus proche du nœud destination.

Selon une autre caractéristique, le deuxième critère est vérifié si la valeur absolue de la différence entre d'une part une distance médiane entre les nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud destination et d'autre part une distance moyenne entre lesdits nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud de destination est inférieure à une valeur seuil prédéterminé.

Le calcul de la différence entre une distance médiane entre les nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud destination et une distance moyenne entre lesdits nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud destination est un critère simple pour déterminer une probabilité de présence d'un nœud malveillant parmi les nœuds du premier sous ensemble..

L'invention se rapporte également à un dispositif formant nœud d'un réseau comportant une pluralité de nœuds, ledit nœud comportant des moyens de détermination d'un ensemble de nœuds voisins dudit nœud parmi la pluralité de nœuds. Le dispositif comporte :

- des moyens de sélection d'une loi de sélection parmi un ensemble de lois de sélection;
- des moyens de choix d'un nœud suivant ledit nœud dans une route par application de la loi sélectionnée à tout ou partie des nœuds de l'ensemble déterminé pour ledit nœud.

L'invention se rapporte également à un capteur apte à collecter des données et à les retransmettre en direction d'un dispositif de collecte caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif formant nœud tel que décrit précédemment.

L'invention se rapporte encore à un système comprenant une pluralité de dispositifs formant nœuds, comprenant au moins un dispositif formant nœud tel que décrit précédemment.

L'invention concerne enfin un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions pour mettre en œuvre les étapes d'un procédé de calcul d'une route tel que décrit précédemment, lorsqu'il est chargé et exécuté par un processeur.

D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description suivante de modes de réalisation donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma général illustrant le contexte général de l'invention;
- la figure 2 est un schéma bloc représentant un capteur apte à réaliser les étapes d'un procédé de calcul de route selon un mode de réalisation de l'invention.
- la figure 3 est un organigramme illustrant les différentes étapes d'un procédé de calcul de route selon un premier mode de réalisation,
- la figure 4 est un organigramme illustrant les différentes étapes d'un procédé de calcul de route selon un deuxième mode de réalisation,
- la figure 5 est un schéma illustrant des sous ensembles de capteurs déterminés selon un mode de réalisation.

L'invention est mise en œuvre au moyen de composants logiciels et/ou matériels. Dans cette optique, le terme "module" peut correspondre dans ce document aussi bien à un composant logiciel, qu'à un composant matériel ou à un ensemble de composants matériels et/ou logiciels, apte à mettre en œuvre une fonction ou un ensemble de fonctions, selon ce qui est décrit ci-dessous pour le module concerné.

Un composant logiciel correspond à un ou plusieurs programmes d'ordinateur, un ou plusieurs sous-programmes d'un programme, ou de manière plus générale à tout élément d'un programme ou d'un logiciel. Un tel composant logiciel est stocké en mémoire puis chargé et exécuté par un processeur de données d'une entité physique (terminal, serveur, passerelle, set-top-box, routeur, etc) et est susceptible d'accéder aux ressources matérielles de cette entité physique (mémoires, supports d'enregistrement, bus de communication, cartes électroniques d'entrées/sorties, interfaces utilisateur, etc).

De la même manière, un composant matériel correspond à tout élément d'un ensemble matériel (ou hardware). Il peut s'agir d'un composant matériel programmable ou avec processeur intégré pour l'exécution de logiciel, par exemple un circuit intégré, une carte à puce, une carte électronique pour l'exécution d'un micrologiciel (firmware), etc.

Un premier mode de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en référence aux figures 1 à 3.

La **figure 1** représente un système SYS comprenant une pluralité de capteurs  $C_1, C_2, \dots, C_i \dots$  placés aléatoirement selon une répartition uniforme dans une zone géographique.

Chaque capteur  $C_i$  est par exemple un capteur de mesures apte à effectuer périodiquement un ensemble de mesures et à transmettre un message de données contenant les mesures effectuées, à destination d'un dispositif de collecte D.

Chaque capteur  $C_i$  est également apte à recevoir un message de données en provenance d'un autre capteur du système SYS et à le retransmettre à destination du dispositif de collecte D.

Chaque capteur  $C_i$  ainsi que le dispositif de collecte D représente respectivement un nœud.

La pluralité de nœuds est organisée en un réseau dit sans infrastructure ou encore réseau Adhoc.

Dans la suite de la description, le dispositif de collecte D est également appelé nœud destination D et un capteur est également appelé nœud.

Un capteur représente un dispositif formant nœud.

Chaque nœud est apte à communiquer avec les nœuds voisins de ce nœud via une liaison sans fil, par exemple une liaison Zigbee, wifi ou une autre liaison de type radio.

Un nœud voisin d'un nœud courant est un nœud à portée de communication de ce nœud courant. Plus précisément, la distance euclidienne entre un nœud courant et un nœud voisin de ce nœud courant est inférieure à la portée de communication. Il est précisé que la portée de communication peut varier selon les conditions de propagation.

La liaison entre deux nœuds est une liaison bidirectionnelle.

De façon connue, la limitation de la puissance d'émission pour les liaisons sans fil ne permet pas à un nœud courant de dialoguer en lien directe avec l'ensemble des nœuds du système SYS.

Aussi, la transmission d'un message de données d'un nœud courant vers un nœud hors de portée de ce nœud courant s'effectue via un ou plusieurs nœuds intermédiaires. Plus généralement, la transmission d'un message de données d'un nœud source vers le dispositif de collecte D s'effectue selon un protocole de routage à sauts multiples.

Suite, par exemple, à la saisie d'un ensemble de mesures, un capteur de l'ensemble SYS, par exemple un capteur Z1, souhaite transmettre un message de données MD comportant les mesures effectuées, au dispositif de collecte D. Le dispositif de collecte D n'étant pas à portée de communication du capteur Z1, le capteur Z1 ne peut transmettre le message de données directement au dispositif de collecte D.

Le transfert du message de données entre le capteur Z1 et le dispositif de collecte D nécessite le calcul d'une route R entre le capteur Z1 et le dispositif de collecte D via au moins un capteur ou nœud intermédiaire. Le message de données MD est transmis de proche en proche via des capteurs du système SYS jusqu'à atteindre le dispositif de collecte D.

La route est construite de façon incrémentale. Plus précisément, le capteur Z1 sélectionne, parmi ses voisins, un capteur, appelé ici premier capteur intermédiaire, à qui il envoie le message de données MD. Le premier capteur intermédiaire sélectionne, ensuite parmi ses voisins, un deuxième capteur intermédiaire et ainsi de suite jusqu'à ce qu'un capteur intermédiaire, à portée du dispositif de collecte D, soit sélectionné.

Le calcul d'une route, empruntée par le message de données MD entre un nœud source, ici le capteur Z1, et un nœud destination, ici le dispositif de collecte D, comprend ainsi la sélection de k nœuds ou capteurs intermédiaires Z2,...Zk+1.

Dans le mode de réalisation décrit ici, la sélection de chaque nœud intermédiaire est effectuée selon un procédé de calcul de route comportant des étapes E0 à E4, décrites en référence à la figure 3. Le procédé de calcul de route est mise en œuvre respectivement par le nœud source Z1 et les (k-1) premiers capteurs intermédiaires sélectionnés Z2, Z3...Zk. Le dernier capteur intermédiaire Zk de la route R transmet directement le message de données MD au nœud destination D.

A titre d'alternative, les étapes E0 à E4 sont mises en œuvre pour certains seulement des nœuds d'un groupe comprenant le nœud source et les (k-1) premiers nœuds intermédiaires. La sélection des autres nœuds intermédiaires est alors effectuée selon un procédé connu de l'état de l'art.

A titre d'alternative, la pluralité de nœuds comprend plusieurs nœuds source et/ou plusieurs nœuds de destination.

Un nœud source lors de la transmission d'un message peut être considéré comme un nœud destination lors de la transmission d'un autre message.

La **figure 2** représente un exemple de capteur Ci du système SYS.

Le capteur Ci comporte de façon connue, notamment une unité de traitement UT équipée d'un microprocesseur, une mémoire morte de type ROM ou EEPROM 103, une mémoire vive de type RAM 104, une interface de communication COM avec des nœuds voisins et/ou le nœud de destination D par une liaison sans fil.

La mémoire morte 103 comporte des registres mémorisant un programme d'ordinateur PG

L'unité de traitement UT est pilotée par le programme informatique PG afin de mettre en œuvre notamment le procédé de calcul de route selon un mode de réalisation de l'invention décrit ultérieurement en référence à la figure 3.

Le capteur Ci comporte également un module de détermination des voisins VOI, un module de sélection SEL, un module de choix d'un nœud intermédiaire CHO ainsi qu'une mémoire temporaire MT, par exemple une mémoire de type RAM, apte à enregistrer un message de données, par exemple un rapport de mesures, reçu d'un nœud voisin.

Le capteur Ci peut comprendre également un module de mesures MES apte à effectuer périodiquement un ensemble de mesures et à enregistrer le résultat de ces mesures dans la mémoire temporaire MT.

Le module de communication COM est apte à recevoir un message de données et à stocker les données reçues dans la mémoire temporaire MT.

Le procédé de l'invention mis en œuvre par un capteur Zj du système SYS va maintenant être décrit en référence à la **figure 3**.

Le capteur Zj est soit le nœud source Z1, soit un capteur intermédiaire Z2, Z3...ou Zk-1. Le capteur Zj représente ici un nœud courant.

Suite, par exemple à la réception d'un message de données, le capteur Zj met en œuvre les étapes E0 à E4 telles que décrites en référence à la figure 3.

Un message de données reçu par le capteur Zj comprend, dans ce mode de réalisation, notamment un identifiant de type DATA, un identifiant du nœud de destination D, les coordonnées géographiques du nœud de destination D, un identifiant du nœud source Z1 et les coordonnées géographiques du nœud source Z1.

Dans le mode de réalisation décrit ici, un ensemble L1 de lois de sélection comporte par exemple 4 lois de sélection S1, S2, S3 et S4.

La première loi de sélection S1 est par exemple une loi de probabilité uniforme. De façon connue, une loi uniforme est une loi aléatoire selon laquelle la probabilité  $p(s)$  dans un ensemble S de nœuds est identique pour tous les nœuds s de l'ensemble S..

La deuxième loi de sélection S2 est par exemple une loi à entropie maximale sur la base de la distance moyenne entre les nœuds d'un ensemble de nœuds et le nœud destination.

La troisième loi de sélection S3 est par exemple une loi à entropie maximale sur la base de la distance médiane entre les nœuds d'un ensemble de nœuds et le nœud destination.

La quatrième loi de sélection S4 est par exemple une loi à entropie maximale sur la base de la distance entre le nœud courant considéré et le nœud destination.

Une loi à entropie maximale est une loi discrète de probabilité qui permet de sélectionner un élément x parmi les éléments  $x_1, x_2, \dots, x_n$  d'un ensemble X et est décrite par exemple dans le document "Random Walks on sensors networks, In Proceedings of the 5th International Symposium On Modeling and Optimization in Mobile, Ad hoc and Wireless Networks- April 2007" de L. Lima et J. Barros.

Une loi à entropie maximale sur la base d'une valeur  $\alpha$ , notée  $P(\alpha)$ , est telle que :

- la somme des probabilités  $p(x)$  de chaque élément x de S est égale à 1. Autrement dit :  

$$p(x_1) + p(x_2) + \dots + p(x_n) = 1,$$
- la somme, pour chaque élément x de X, des valeurs  $(p(x) * d(x))$  est égale à  $\alpha$  avec  $d(x)$  représentant la distance de l'élément x à un point déterminé. Autrement dit :  

$$p(x_1) * d(x_1) + p(x_2) * d(x_2) + \dots + p(x_n) * d(x_n) = \alpha$$
- la somme, pour chaque élément x de X, des valeurs  $(p(x) * \ln(1/p(x)))$  est maximale avec  $\ln$  représentant la fonction Logarithme Népérien. Autrement dit :  

$$p(x_1) * \ln(1/p(x_1)) + p(x_2) * \ln(1/p(x_2)) + \dots + p(x_n) * \ln(1/p(x_n))$$
 est maximale.

La maximisation de la somme  $(p(x) * \ln(1/p(x)))$  est par exemple effectuée par une méthode connue de multiplicateurs de Lagrange. La résolution des équations linéaires sont par exemple résolues à l'aide de méthodes de calcul numérique simples telles que la méthode de Newton ou la méthode de descente de gradient et les calculs arithmétiques sont par exemple effectués par l'exécution d'un algorithme CORDIC (pour "COordinate Rotation DIgital Computer").

La distance médiane entre un ensemble de nœuds et le nœud destination est ici la distance entre le barycentre de la position des nœuds de l'ensemble et le nœud de destination.

La distance moyenne entre un ensemble de nœuds et le nœud destination est la distance moyenne calculée sur l'ensemble des distances de chaque nœud de l'ensemble au nœud de destination.

A titre d'alternative, le nombre des lois de l'ensemble L1 est différent de 4 et/ou l'ensemble de lois L1 comporte une ou plusieurs lois différentes des lois S1, S2, S3 et S4.

Lors d'une première étape E0, le module de sélection VOI du capteur courant  $Z_j$  détermine parmi la pluralité des nœuds du système SYS, un ensemble V de nœuds  $V_j$  voisins du nœud courant  $Z_j$ .

Plus précisément, chaque nœud du système SYS diffuse périodiquement, par exemple toutes les 3 secondes, en mode broadcast, un message HELLO.

Un message HELLO transmis par un nœud comprend, dans ce mode de réalisation, notamment un identifiant de type HELLO, un identifiant de ce nœud et les coordonnées géographiques de ce nœud.

Le nœud courant  $Z_j$  reçoit ainsi des messages HELLO en provenance de ses voisins.

Le nœud courant  $Z_j$  maintient une table de voisinage TV (figure 2) dans laquelle il stocke les informations relatives à chaque voisin. La table de voisinage TV est par exemple une zone de la mémoire RAM 103.

A chaque réception d'un paquet HELLO, le nœud courant  $Z_j$  met à jour sa table de voisinage TV.

Les informations stockées expirent au bout de 2 secondes et demie. Ainsi un nœud qui ne communique plus, ne figure plus dans la table de voisinage de ses voisins.

L'étape E0 est suivie d'une étape E2, lors de laquelle le module de sélection SEL du capteur  $Z_j$  sélectionne une loi de sélection S dans l'ensemble de lois L1.

Dans le mode de réalisation décrit, la loi de sélection S est sélectionnée de façon aléatoire.

A titre d'alternative, les lois sont sélectionnées selon une séquence prédéfinie.

Puis, lors d'une étape E4, le module de choix d'un nœud intermédiaire CHO du capteur  $Z_j$  choisit un nœud intermédiaire  $Z_{j+1}$  suivant le nœud courant  $Z_j$  par application de la loi sélectionnée S à l'ensemble V des voisins  $V_j$ .

A titre d'alternative, le procédé de calcul d'une route mis en œuvre par le capteur  $Z_j$  comporte une étape E3 de détermination d'un sous ensemble de nœuds parmi les nœuds voisins, par exemple le sous ensemble des nœuds voisins plus proches du dispositif de collecte D que le nœud courant  $Z_j$  et lors de l'étape E4, la loi de sélection S sélectionnée lors de l'étape E2 est appliquée au sous ensemble déterminé.

Un deuxième mode de réalisation du procédé de calcul de route dans le système SYS va maintenant être décrit en référence aux figures 4 et 5

Le procédé de calcul de route comporte ici des étapes E10 à E18 mises en œuvre par au moins un capteur d'un groupe comprenant le capteur source Z1 et au moins un capteur ou nœud intermédiaire.

Dans ce mode de réalisation, un ensemble de lois L2 comporte par exemple 2 lois de sélection S5 et S6.

La première loi S5 est par exemple une loi équiprobable.

La deuxième loi S6 est une loi de probabilité dans laquelle les probabilités sont pondérées en fonction de coefficients de pondération. Par exemple, un coefficient de pondération P appliqué pour un nœud est fonction de la distance entre ce nœud et le nœud destination D. Cette pondération permet aux messages de rejoindre plus rapidement le nœud destination D.

La loi de sélection S6 est par exemple la loi S5 dans laquelle les probabilités sont pondérées en fonction de la valeur de pondération P.

A titre d'alternative, les probabilités de sélection de la loi de sélection S6 sont déterminées en appliquant par exemple le principe d'entropie maximale afin d'obtenir avec la pondération une distance moyenne égale à la distance médiane sans pondération.

En référence à la **figure 4**, lors d'une première étape E10, similaire à l'étape E0, le module de détermination VOI du capteur Zj détermine, parmi la pluralité des nœuds capteur du système SYS, un ensemble V de nœuds voisins Vj du nœud courant Zj.

Lors d'une étape E12, le module de détermination VOI détermine un ensemble W de nœuds sur lequel va être appliqué une loi de sélection de l'ensemble de lois L2.

Plus précisément, l'étape E12, comporte ici des sous étapes E120, E122 et E124.

Lors d'une première sous étape E120, le module de détermination VOI du capteur Zj détermine un premier sous ensemble VP1 et un deuxième sous ensemble VP2 de nœuds.

Le premier sous ensemble VP1 est un sous ensemble de l'ensemble V des nœuds voisins du nœud courant Zj.

Le premier sous ensemble VP1 est par exemple l'ensemble des nœuds voisins du capteur Zj plus proches du dispositif de collecte D que le nœud courant Zj. Par exemple, un nœud du premier sous ensemble VP1 est un nœud tel que la distance entre ce nœud et le nœud destination D est inférieure à la distance entre le nœud courant Zj et le nœud destination D.

A titre d'alternative, le premier sous ensemble VP1 est l'ensemble V des nœuds voisins.

Le deuxième sous ensemble VP2 est un sous ensemble du premier sous ensemble VP1. Le deuxième sous ensemble VP2 est, par exemple, constitué de la moitié des nœuds du premier sous ensemble VP1, la plus proche du nœud destination D.

La **figure 5** illustre un exemple de premier sous ensemble VP1 et d'un deuxième sous ensemble VP2 déterminés par un nœud courant Zj.

Le premier et le deuxième sous ensembles sont déterminés en fonction d'une métrique. La métrique utilisée ici est la distance entre un nœud et le nœud destination D.

La distance entre un nœud voisin et le nœud destination D est calculée par le capteur Zj par utilisation d'une part de la position géographique du nœud destination D contenue dans le message de donnée reçu et d'autre part de la position géographique de ce nœud voisin contenue dans la table de voisinage TV.

A titre d'alternative, la métrique utilisée est un nombre de sauts reliant un nœud au nœud destination D. Un nombre de sauts est par exemple obtenu par diffusion d'un message émis par le nœud destination D contenant un nombre de sauts égal à zéro et propagé de proche en proche par les nœuds après incrémentation du nombre de sauts.

Puis, lors d'une sous étape E122, le module de détermination VOI du capteur Z<sub>j</sub> vérifie un premier critère de confiance CR1.

La vérification du premier critère de confiance CR1 comprend le calcul d'une première M1 et d'une deuxième métrique M2 représentatives du premier sous ensemble VP1 puis la comparaison des métriques calculées.

La première métrique M1 est par exemple la distance médiane entre les nœuds du premier sous ensemble VP1 et le nœud destination D, c'est-à-dire la distance entre le barycentre des nœuds du premier sous ensemble VP1 et le nœud destination D. La deuxième métrique M2 calculée est la distance moyenne entre les nœuds du premier sous ensemble VP1 et le nœud de destination D.

La comparaison de la distance médiane et de la distance moyenne est un critère permettant de détecter une fraude potentielle. En effet, un nœud frauduleux voulant attirer le trafic transmet dans les paquets HELLO à destination de ses voisins, une position géographique fautive. Par exemple, il indique une position géographique plus proche du nœud destination D que sa position réelle. Cette position géographique erronée influence différemment la distance moyenne plus que la distance médiane, calculées sur les nœuds. Ainsi, une différence entre la distance médiane et la distance moyenne supérieure à un premier seuil prédéterminé Se1 indique une possibilité de présence d'un nœud frauduleux

La sous étape E122 est suivie d'une sous étape 124 lors de laquelle le module de détermination VOI du capteur Z<sub>j</sub> choisit un ensemble W de nœuds sur lesquels va être appliquée une loi de sélection S de l'ensemble L2.

Si le premier critère de confiance CR1 est vérifié, c'est-à-dire si la différence calculée, en valeur absolue, entre la distance médiane M1 et la distance moyenne M2 est inférieure à un seuil prédéterminé Se1 ( $|M1-M2| < Se1$ ), l'ensemble W choisi est le deuxième sous ensemble VP2.

Si le premier critère de confiance CR1 n'est pas vérifié, l'ensemble W choisi est le premier sous ensemble VP1.

L'étape E12 est suivie d'une étape E14 de vérification d'un deuxième critère de confiance CR2.

La vérification du deuxième critère de confiance CR2 comprend le calcul d'une troisième M3 et d'une quatrième métrique représentatives de l'ensemble de nœuds W choisi lors de l'étape E12 puis la comparaison des métriques calculées.

La troisième métrique  $M3$  est par exemple la distance médiane, c'est-à-dire la distance entre le barycentre des nœuds de l'ensemble  $W$  et le nœud destination  $D$ . La quatrième métrique  $M4$  calculée est la distance moyenne entre les nœuds de l'ensemble  $W$  et le nœud destination  $D$ .

Lors d'une étape  $E16$  suivante, le module de sélection  $SEL$  du capteur  $Z_j$  sélectionne dans l'ensemble de lois  $L2$  une loi de sélection  $S$  en fonction de la vérification du deuxième critère de confiance  $CR2$ .

Par exemple, la loi de sélection  $S6$  est sélectionnée si la valeur absolue de la différence entre la distance médiane  $M3$  et la distance moyenne  $M4$  est inférieure à un deuxième seuil prédéterminé  $Se2$  ( $|M3-M4| < Se2$ ), et la loi de sélection  $S5$  est sélectionnée sinon.

Puis, lors d'une étape  $E18$ , le nœud courant  $C_i$  choisit le nœud intermédiaire suivant  $Z_{j+1}$  par application de la loi  $S$  sélectionnée lors de l'étape  $E16$  à l'ensemble de nœuds  $W$  déterminé lors de l'étape  $E12$ .

A titre d'alternative, le procédé ne comporte pas l'étape  $E12$ , et lors de l'étape  $E18$ , la loi  $S$  sélectionnée lors de l'étape  $E16$  est appliquée à l'ensemble  $V$  des voisins.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de calcul d'une route (R) pour un transfert de données (MD) entre un nœud source (Z1) et un nœud destination D dans un réseau comportant une pluralité de nœuds (Ci), le procédé comportant, pour un nœud courant (Zj) de ladite route, une étape de détermination (E0) parmi la pluralité de nœuds d'un ensemble (V) de nœuds voisins dudit nœud courant, caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
  - une étape de sélection (E2) d'une loi de sélection (S) parmi un ensemble de lois de sélection (L1, L2);
  - une étape de choix (E4) d'un nœud (Z<sub>j+1</sub>) suivant ledit nœud courant (Zj) dans ladite route (R) par application de la loi sélectionnée (S) à tout ou partie des nœuds de l'ensemble (V) déterminé pour ledit nœud courant.
  
2. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 1 caractérisé en ce que la loi de sélection est sélectionnée de façon aléatoire.
  
3. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 1 caractérisé en ce que l'ensemble de lois comporte au moins une loi de sélection aléatoire et au moins une loi de sélection déterministe.
  
4. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 1 caractérisé en ce que la loi de sélection est sélectionnée en fonction d'au moins une valeur représentative de la probabilité de présence d'un nœud malveillant dans ledit ensemble.
  
5. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 1 caractérisé en ce que le procédé comporte en outre :
  - une étape de détermination d'un premier et d'un deuxième sous ensemble de nœuds, ledit premier sous ensemble étant constitué de nœuds dudit ensemble et le deuxième sous ensemble étant constitué de nœuds dudit premier sous ensemble,
  - une étape de vérification d'un premier critère de confiance relatif audit premier sous ensemble;et en ce que la loi sélectionnée est appliquée audit premier sous ensemble ou audit deuxième sous ensemble en fonction du résultat de la vérification du premier critère de confiance.
  
6. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 5 dans lequel le premier critère de confiance est vérifié si la valeur absolue de la différence entre d'une part une distance médiane entre les nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud de destination et d'autre part une distance

moyenne entre lesdits nœuds dudit premier sous ensemble et le nœud de destination est supérieure à une valeur seuil prédéterminé.

7. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 1 caractérisé en ce que le procédé comporte en outre :

- une étape de détermination (E120) d'un premier (VP1) et d'un deuxième (VP2) sous ensemble de nœuds, ledit premier sous ensemble étant constitué de nœuds dudit ensemble et le deuxième sous ensemble étant constitué de nœuds dudit premier sous ensemble,
- une étape de vérification (E14) d'un deuxième critère de confiance relatif à un dit sous ensemble; et en ce que la loi est sélectionnée en fonction du résultat de la vérification d'un deuxième critère de confiance.

8. Procédé de calcul d'une route selon la revendication 7 dans lequel la loi sélectionnée est pondérée par au moins un coefficient de pondération si le deuxième critère de confiance est vérifié et la loi sélectionnée est équiprobable si ledit deuxième critère n'est pas vérifié.

9. Dispositif (Ci) formant nœud d'un réseau comportant une pluralité de nœuds, comportant des moyens de détermination (VOI) d'un ensemble de nœuds voisins dudit nœud parmi la pluralité de nœuds, caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens de sélection (SEL) d'une loi de sélection parmi un ensemble de lois de sélection;
- des moyens de choix (CHO) d'un nœud suivant ledit nœud dans une route par application de la loi sélectionnée à tout ou partie des nœuds de l'ensemble déterminé pour ledit nœud.

10. Capteur (Ci) apte à collecter des données et à les retransmettre en direction d'un dispositif de collecte caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif selon la revendication 9.

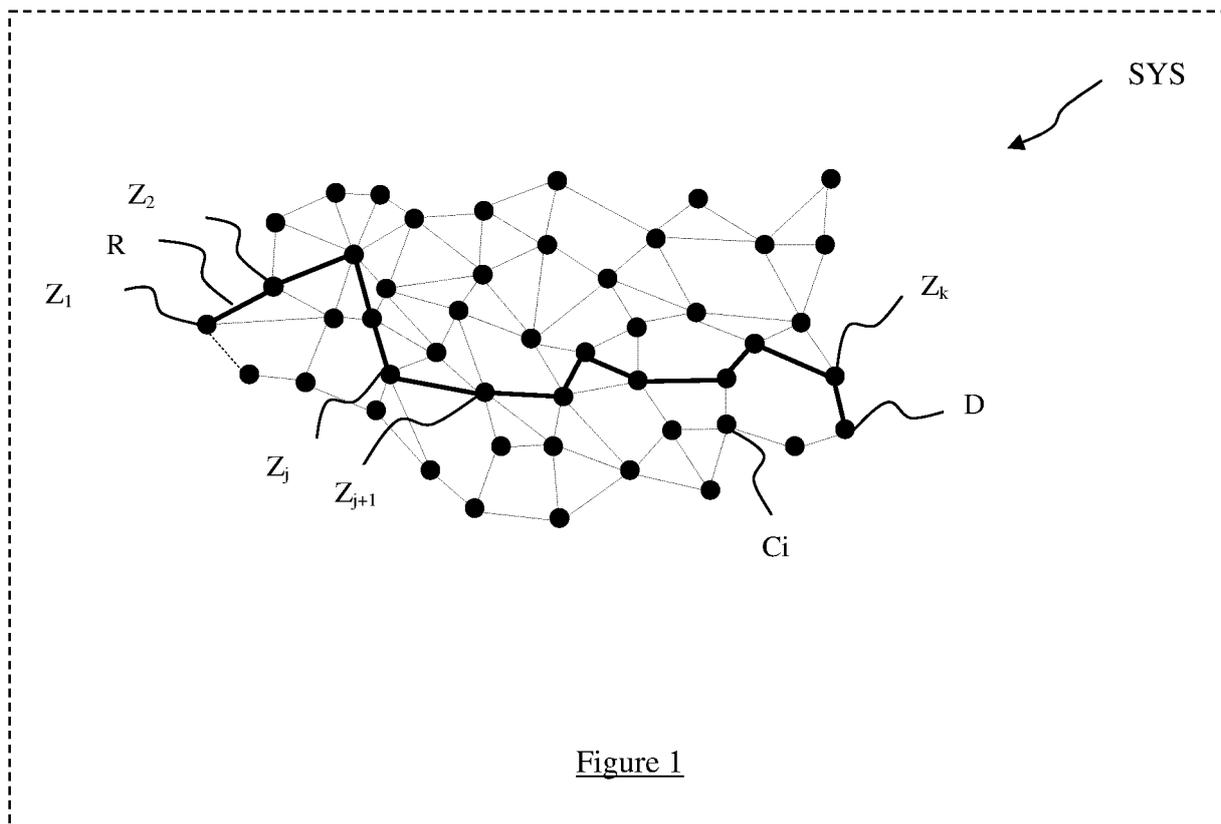


Figure 1

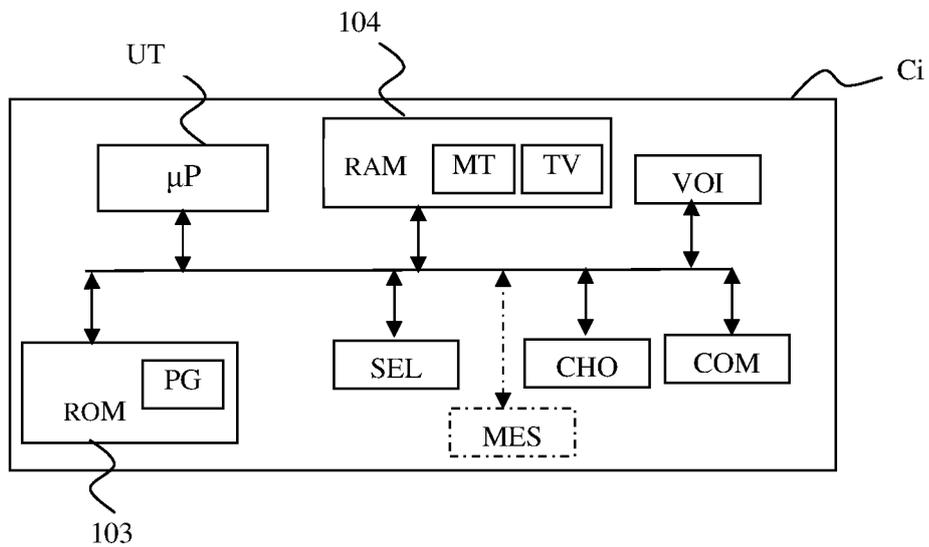
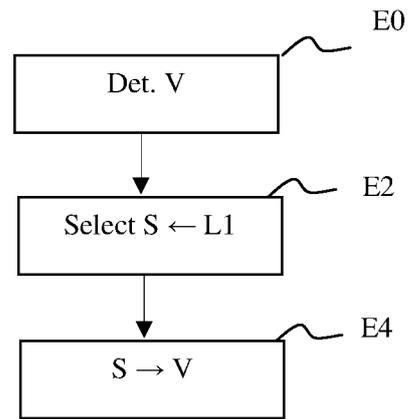
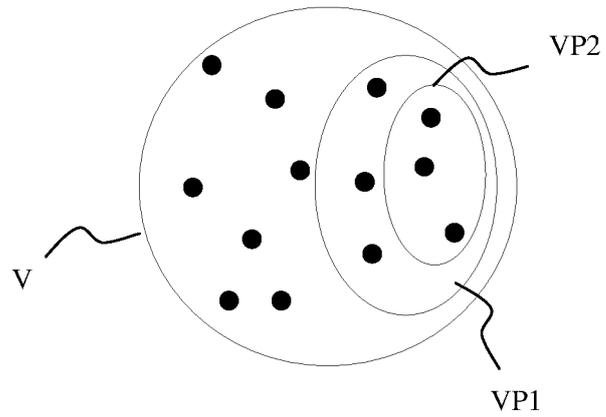


Figure 2

2/3

Figure 3Figure 5

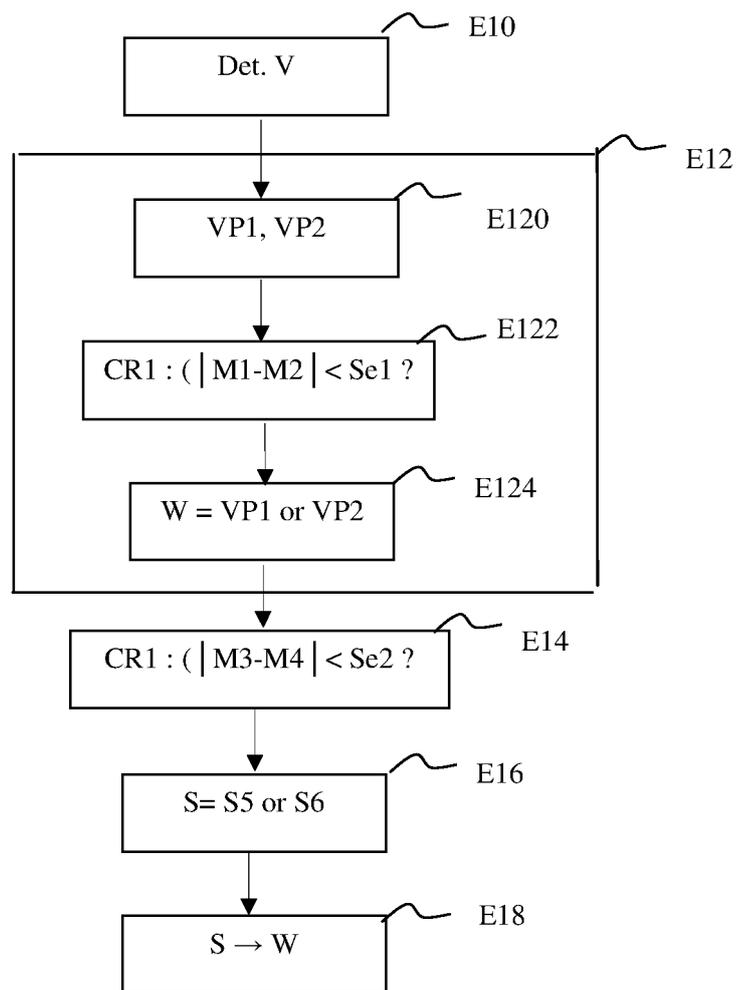


Figure 4



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

FA 759849  
FR 1158828

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	ASAD AMIR PIRZADA ET AL: "Trusted Greedy Perimeter Stateless Routing", NETWORKS, 2007. ICON 2007. 15TH IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PI, 1 novembre 2007 (2007-11-01), pages 206-211, XP031211080, ISBN: 978-1-4244-1229-7 * page 207, colonne de droite, ligne 28 - ligne 49 * * page 208, colonne de gauche, ligne 17 - page 209, colonne de gauche, ligne 18 * -----	1-10	H04L29/08 H04L12/56
A	SHAHID SHEHZAD BAJWA ET AL: "Grouped Black hole Attacks Security Model (GBHASM) for wireless Ad-hoc networks", COMPUTER AND AUTOMATION ENGINEERING (ICCAE), 2010 THE 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 26 février 2010 (2010-02-26), pages 756-760, XP031671007, ISBN: 978-1-4244-5585-0 * le document en entier * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04L
A	EP 2 034 782 A1 (SIEMENS AG [DE]) 11 mars 2009 (2009-03-11) * le document en entier * -----	1-10	
A	US 2006/239203 A1 (TALPADE RAJESH R [US] ET AL) 26 octobre 2006 (2006-10-26) * le document en entier * -----	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 juillet 2012		Perrier, Samuel	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		.....	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1158828 FA 759849**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-07-2012**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2034782	A1	11-03-2009	CN 101796861 A	04-08-2010
			EP 2034782 A1	11-03-2009
			EP 2198641 A1	23-06-2010
			US 2010180113 A1	15-07-2010
			WO 2009030693 A1	12-03-2009
-----				
US 2006239203	A1	26-10-2006	CA 2588790 A1	19-04-2007
			EP 1844562 A2	17-10-2007
			JP 2008523769 A	03-07-2008
			US 2006239203 A1	26-10-2006
			US 2010050258 A1	25-02-2010
			WO 2007044038 A2	19-04-2007
-----				