

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
29 novembre 2007 (29.11.2007)

PCT

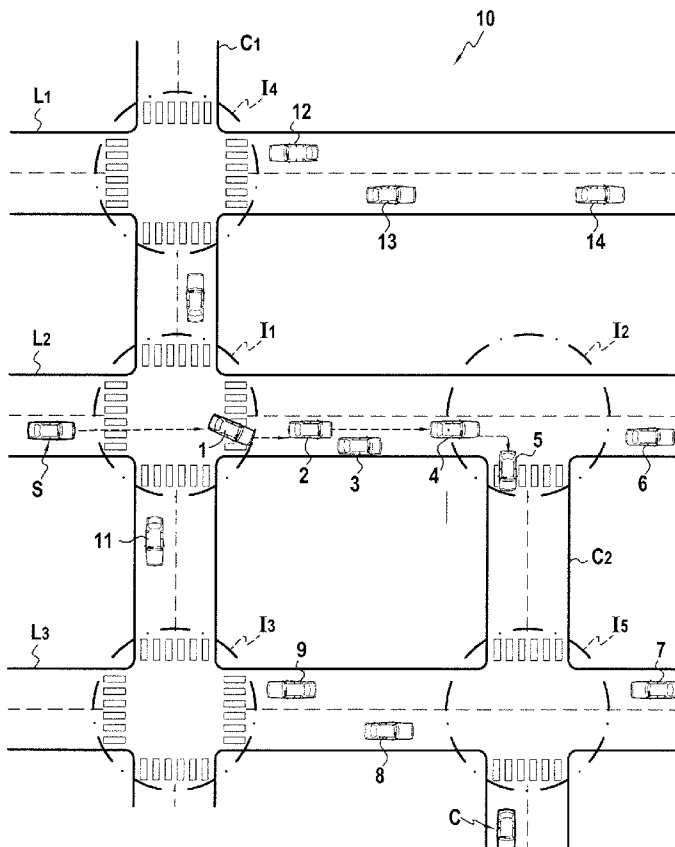
(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/135321 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
H04L 12/56 (2006.01) *H04L 12/28* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/051279
- (22) Date de dépôt international : 15 mai 2007 (15.05.2007)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
0604737 24 mai 2006 (24.05.2006) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
FRANCE TELECOM [FR/FR]; 6 Place d'Alleray,
F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **SENOUCI, Sidi-Mohammed** [DZ/FR]; 19 rue des Sept Iles, F-22700 Perros Guirec (FR). **JERBI, Moez** [TN/FR]; 24 résidence du Roux, F-22300 Lannion (FR). **MERAIHI, Rabah** [DZ/FR]; 12 rue Peintre Lebrun, F-78000 Versailles (FR).
- (74) Mandataire : **WINDAL-VERCASSON, Gaëlle**; FRANCE TELECOM/R & D/PIV/BREVETS, 38-40 rue du Général Leclerc, F-92794 Issy Les Moulineaux Cedex 9 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, 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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PROCESS FOR ROUTING DATA PACKETS IN A MOBILE NODE NETWORK AND ASSOCIATED TERMINAL

(54) Titre : PROCÉDE DE ROUTAGE DE PAQUETS DE DONNEES DANS UN RESEAU DE NOEUDS MOBILES ET TERMINAL ASSOCIE



(57) Abstract: The invention relates to a process for routing data packets (P) between a source node (S) and a target node (C) in an ad-hoc network comprising a plurality of mobile nodes (1-14) that may be located and which move in the circulation channels (L1, L2, L3, C1, C2) of a determined geographical network (10) forming between them a plurality of intersections (I1-16). This process comprises a selection step for a destination intersection, in which a carrier node (S) of the packets (P) selects, from the neighbouring intersections and according to the traffic conditions, a destination intersection (12); a search step for at least one mobile node (1) next to the packet carrier node and closer to the destination intersection selected (12) than the carrier node; and if at least one neighbouring mobile node (1) is found, a transfer step for the packets (P) of the packet carrier node (S) to the neighbouring node found (1), so as to take the data packets to the destination intersection selected.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de routage de paquets (P) de données entre un nœud source (S) et un nœud cible (C) dans un réseau ad-hoc comprenant une pluralité de nœuds mobiles (1-14) localisables et se déplaçant selon des voies de circulation (L1, L2, L3, C1, C2) d'un réseau géographique (10) déterminé formant entre

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/135321 A1



LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

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

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale
— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont requises

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

elles une pluralité d'intersections (II- 16). Ce procédé comporte une étape de sélection d'une intersection de destination, dans laquelle un nœud porteur (S) des paquets (P), sélectionne, parmi des intersections voisines et en fonction de conditions de trafic, une intersection de destination (12) ; une étape de recherche d'au moins un nœud mobile voisin (1) du nœud porteur des paquets et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée (12) que le nœud porteur; et si au moins un nœud mobile voisin (1) a été trouvé, une étape de transfert des paquets (P) du nœud porteur (S) des paquets au nœud voisin trouvé (1), de manière à acheminer les paquets de données vers l'intersection de destination sélectionnée.

Titre de l'invention

Procédé de routage de paquets de données dans un réseau de nœuds mobiles et terminal associé.

5 Arrière-plan de l'invention

L'invention se situe dans le domaine des réseaux de communication ad-hoc.

Les réseaux ad-hoc sont des réseaux de communication, utilisant le medium radio. Ils sont constitués de nœuds mobiles et/ou fixes
10 ayant la propriété de constituer automatiquement et dynamiquement un réseau capable d'acheminer des paquets d'un point quelconque du réseau à un autre dès lors qu'une communication radio s'établit entre un nœud et ses voisins.

Dans un réseau ad-hoc, les paquets sont transmis directement
15 entre le nœud source et le nœud destinataire si ce dernier est dans la zone de connectivité du nœud source ou via des nœuds intermédiaires voisins si le nœud destinataire est hors de portée du nœud source.

Par conséquent, les réseaux ad-hoc permettent le déploiement instantané de réseaux de communication sans infrastructure préexistante
20 ni gestion centralisée. La formation du réseau se fait d'une manière dynamique, l'ensemble des tâches de gestion étant réparti entre l'ensemble des nœuds du réseau.

La caractéristique principale des réseaux ad-hoc est que les nœuds appartenant à ce réseau jouent, ou peuvent jouer, le rôle de
25 routeurs. Les nœuds sont donc responsables eux-mêmes de l'établissement et du maintien de la connectivité du réseau d'une manière continue. Cela est réalisé par l'utilisation de protocoles de routage spécifiques qui permettent aux nœuds d'échanger des informations de routage entre nœuds voisins et de calculer des chemins de communication
30 vers tous les autres nœuds du réseau. Ces protocoles de routage émettent

des messages périodiquement pour actualiser la topologie du réseau ad-hoc (i.e. pour identifier les nœuds et les liens entre les nœuds).

Plus précisément, l'invention concerne un procédé de routage permettant de transmettre des paquets de données entre un nœud source
5 et un nœud cible appartenant à un réseau ad-hoc formé par des nœuds mobiles se déplaçant selon des voies de circulation d'un réseau géographique déterminé formant entre elles des intersections, les nœuds étant utilisés en tant que vecteurs pour acheminer les paquets de données vers le nœud cible.

10 L'invention trouve une utilisation privilégiée mais non limitative dans les réseaux ad-hoc véhiculaires communément appelés VANETs (« Vehicular Ad-hoc NETWORKS ») et dans des environnements urbains.

Ces réseaux ad-hoc véhiculaires urbains sont des systèmes distribués et flexibles de communication sans fil inter-véhiculaire (IVC :
15 « Inter-Vehicular Communications ») dans lesquels les nœuds de communication sont constitués par des véhicules se déplaçant selon des voies d'un réseau routier de structure connue.

Dans de tels systèmes, chaque véhicule est équipé d'une technologie de transmission sans fil de courte portée, lui permettant de
20 recevoir et d'émettre des signaux radiofréquences de manière à former, en coopération avec les autres véhicules, un réseau de communication temporaire.

Dans ces réseaux, l'acheminement de paquets de données d'un véhicule source vers un véhicule cible est assuré par un protocole de
25 routage selon lequel les paquets de données sont successivement relayés par un ou plusieurs véhicule(s) se déplaçant selon les voies du réseau routier entre le véhicule source et le véhicule cible.

La plupart des protocoles de routage existants sont basés sur un routage géographique qui exploite des informations locales concernant la

position géographique explicite des nœuds du réseau afin de prendre une décision de transfert des paquets de données.

Un premier protocole de routage dénommé GSR (Geographic Source Routing) utilise un routage basé sur la position géographique des nœuds du réseau en corrélation avec des informations relatives à la topologie du réseau ad-hoc.

Selon le protocole GSR, un véhicule source désirent émettre un paquet de données à destination d'un véhicule cible, calcule le chemin de routage le plus court pour atteindre ce véhicule cible, à partir des informations géographiques d'une carte routière. On notera que le chemin de routage en question est calculé dans son intégralité, en utilisant par exemple l'algorithme de Dijkstra.

A partir du chemin de routage calculé, le véhicule source sélectionne ensuite une séquence d'intersections par lesquelles le paquet de données doit transiter afin d'atteindre le véhicule cible. Cette séquence d'intersections est constituée par un ensemble de points géographiques fixes de passage du paquet de données.

Ainsi, une séquence complète de points géographiques fixes doit être calculée avant l'envoi de chaque paquet à destination d'un véhicule cible, cette séquence étant ensuite insérée dans l'entête d'un paquet devant être émis à destination du véhicule cible.

Un inconvénient du protocole GSR est que, dans certains cas, la sélection de la séquence d'intersections fait intervenir des routes sur lesquelles il n'y a pas assez de véhicules pour assurer une bonne connectivité, ce qui a pour effet néfaste d'augmenter le taux de perte des paquets.

L'insertion d'une telle séquence représente une surcharge pour le réseau ad-hoc, étant donné qu'elle doit être insérée dans l'entête de tout paquet émis à destination d'un véhicule cible. Par conséquent, une

telle approche est désavantageuse dans la mesure où elle ne permet pas d'optimiser la bande passante allouée au réseau ad-hoc.

De plus, on notera que l'étape de détermination du chemin de routage dans son intégralité permettant d'atteindre le véhicule cible est
5 une opération lourde en calcul. Cette opération étant réalisée uniquement au niveau du nœud source, le protocole GSR ne permet pas de suivre l'évolution d'un véhicule cible en déplacement.

Ceci peut induire un temps de latence relativement élevé, entre l'émission d'un paquet par un véhicule source et sa réception par un
10 véhicule cible.

Une fois le chemin de routage établi, le paquet de données est relayé successivement de nœud en nœud, le long de ce chemin, selon une stratégie de relais dite « Greedy Forwarding ».

Selon cette stratégie de relais, un nœud porteur d'un paquet
15 cherche toujours à relayer ce paquet à un nœud voisin qui se trouve plus proche du véhicule cible que le nœud porteur lui-même. Dès réception du paquet de données, le nœud voisin devient à son tour un nœud porteur qui cherche à son tour à relayer le paquet à un nœud voisin et ainsi de suite.

20 Toutefois, cette stratégie de relais peut échouer dans le cas particulier où aucun nœud voisin du nœud porteur n'est plus proche du nœud cible que le nœud porteur lui-même. Cette situation est dénommée « optimum local » et nécessite une solution de recouvrement.

Un deuxième protocole de routage dénommé A-STAR
25 (« Anchor-based Street and Traffic Aware Routing »), spécifiquement conçu pour des réseaux de communications inter-véhiculaires dans des environnements urbains, se distingue du protocole GSR en ce qu'il prend en compte des données de trafic routier pour calculer un chemin de routage.

Néanmoins, ces données de trafic sont statiques (par exemple basées sur des statistiques) et ne sont donc pas adaptées à un réseau urbain dans lequel le trafic routier est en constante évolution dans le temps. En particulier, les protocoles de routage existants dans le contexte
5 des communications inter-véhiculaires ne prennent actuellement pas en compte les variations spatio-temporelles de la densité du trafic routier, ni la présence de voies à direction et sens multiples.

Objet et résumé de l'invention

10 La présente invention permet de pallier aux inconvénients mentionnés ci-avant, en proposant un procédé de routage d'au moins un paquet de données entre un nœud source et un nœud cible dans un réseau ad-hoc comprenant une pluralité de nœuds mobiles. Ces nœuds se déplacent selon des voies de circulation d'un réseau géographique
15 déterminé, dans lequel les voies de circulation forment entre elles une pluralité d'intersections. Ce procédé comporte :

- une étape de sélection par un nœud porteur d'un paquet de données à acheminer au nœud cible d'une intersection de destination, ladite intersection de destination étant sélectionnée parmi des
20 intersections voisines, dites intersections candidates, et en fonction de conditions de trafic ;

- une étape de recherche d'au moins un nœud mobile, voisin du nœud porteur du paquet de données et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que le nœud porteur ;

25 - si au moins un nœud mobile voisin a été trouvé, une étape de transfert du paquet de données du nœud porteur du paquet de données audit nœud voisin trouvé, de manière à acheminer ledit paquet de données vers l'intersection de destination sélectionnée.

30 Le procédé de routage selon l'invention permet un routage progressif des paquets de données, par transfert successif de nœud en

nœud, vers le nœud cible, chaque nœud sélectionnant une intersection de destination intermédiaire par laquelle les paquets de données doivent transiter. Ainsi, on trace de manière progressive l'itinéraire des paquets de données à travers le réseau géographique déterminé, permettant ainsi de
5 suivre de manière quasi-instantanée, l'évolution de la topologie du réseau ad-hoc dans lequel les nœuds mobiles sont en mouvement perpétuel.

Grâce à ce procédé de détermination progressif de l'itinéraire, le procédé de l'invention permet des transmissions de paquets sur des distances bien plus importantes que celles permises par des protocoles de
10 routage existants. En effet, plus la distance à parcourir entre le nœud source et le nœud cible est grande, plus le temps de transmission entre ces deux nœuds est importante. Plus le temps de transmission est important, plus la probabilité des changements de la topographie du réseau ad-hoc augmente. Sans calcul fréquent du chemin de routage, le
15 taux de perte des paquets à transmettre au nœud cible devient rapidement important, comme dans le cas des protocoles existants.

Contrairement au cas des protocoles de routage qui maintiennent à jour des informations de localisation géographique globales et calculent un chemin de routage intégral, l'utilisation d'un
20 routage progressif basé sur des informations locales de routage permet de réduire l'en-tête des paquets de données destiné au routage des données.

Ceci permet une utilisation plus efficace des ressources du réseau ad-hoc, notamment en minimisant la bande passante allouée au réseau.

25 De plus, le procédé de routage selon l'invention permet de router des paquets de données d'un nœud source à un nœud cible en minimisant le délai de bout en bout tout en fournissant un faible taux de pertes des paquets de données. On notera que le nœud cible peut être fixe (par exemple, point de réception dans une station service) ou bien
30 mobile (par exemple, un véhicule en déplacement).

Ainsi, le procédé de routage selon l'invention est particulièrement adapté à des réseaux ad-hoc dans lequel les nœuds se déplacent constamment et rapidement, les changements de topologie du réseau sont fréquents, et les durées de vie de connexions des nœuds mobiles courtes (notamment dans le cas de chemins à sauts multiples).

De plus, de par la prise en compte de conditions de trafic, il permet de limiter les risques d'interruption dans le routage du paquet pour des raisons de trafic insuffisant sur une voie de circulation sélectionnée.

Selon une caractéristique du procédé selon l'invention, l'étape de sélection d'une nouvelle intersection de destination est exécutée si le nœud porteur du paquet de données est localisé au niveau de l'intersection de destination sélectionnée, dite intersection courante.

On optimise ainsi la charge de calcul des nœuds en limitant l'exécution de cette étape aux nœuds arrivés à proximité de l'intersection de destination courante.

Selon une caractéristique du procédé selon l'invention, lors de l'étape de sélection, le nœud mobile porteur des paquets de données sélectionne une intersection de destination parmi les intersections candidates en fonction au moins de conditions de trafic en temps réel sur une voie de circulation reliant l'intersection candidate à l'intersection courante.

En tenant compte des conditions de trafic des nœuds mobiles en temps réel, on assure la sélection d'une voie de circulation (entre l'intersection où se trouve le nœud mobile, dite courante, et l'intersection de destination candidate) qui minimise les problèmes de connectivité, réduisant ainsi la latence d'acheminement et le taux de perte des paquets.

Par exemple, plus le trafic des nœuds est dense sur une voie de circulation, plus le niveau de connectivité y est élevé et, par conséquent, plus les paquets transitant à travers cette voie ont de chance d'atteindre l'intersection de destination et ce en un minimum de temps.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le nœud mobile porteur sélectionne l'intersection de destination parmi les intersections candidates en fonction de la proximité de l'intersection candidate au nœud cible.

5 Ainsi, le nœud mobile porteur sélectionne l'intersection de destination qui est située géographiquement la plus proche du nœud cible et vers laquelle les conditions de trafic sont optimales.

 Selon une autre caractéristique de l'invention, chaque nœud maintient à jour l'un au moins des paramètres appartenant au groupe
10 comprenant la position, la vitesse et la direction de déplacement de ses nœuds voisins proches.

 Selon une autre caractéristique de l'invention, le nœud porteur sélectionne un nœud mobile voisin en fonction de la vitesse et/ou de la position d'avancement du nœud voisin vers l'intersection de destination
15 sélectionnée.

 En tenant compte de la vitesse vectorielle (amplitude, direction et sens) et de la position de chaque nœud voisin d'un nœud porteur, ce dernier détermine, par un calcul d'estimation, le nœud voisin qui est le plus proche de l'intersection de destination. A titre d'exemple, le nœud
20 voisin sélectionné par le nœud porteur est celui qui se situe le plus près de l'intersection de destination et qui se déplace vers celle-ci à une vitesse la plus élevée.

 Selon une autre caractéristique de l'invention, chaque nœud maintient à jour des mesures relatives à la position, la vitesse et la
25 direction de déplacement de ses nœuds voisins et en ce que l'étape de recherche d'au moins un nœud mobile, voisin du nœud porteur du paquet de données et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que le nœud porteur, comprend une étape de prédiction, dans laquelle, à partir de ces mesures, on prédit à un instant courant la position courante
30 d'un nœud voisin.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le nœud mobile porteur du paquet de données sélectionne l'intersection de destination parmi les intersections candidates, pour laquelle un score S_j prend une valeur maximum, le score étant calculé selon la formule suivante :

$$5 \quad S_j = \alpha \times f(T_{ij}) + \beta \times g(D_j), \text{ où}$$

T_{ij} représente la densité de trafic de nœuds en déplacement entre l'intersection courante et l'intersection de destination ;

D_j représente la distance curvimétrique du chemin de routage qui relie l'intersection de destination au nœud cible ;

10 α et β représentent des facteurs de correction ;

f est une fonction de densité du trafic routier et est telle que $0 \leq f(T_{ij}) \leq 1$; et

$$g(D_j) = 1 - \frac{D_j}{D_i}, \text{ tel que } -1 \leq g(D_j) \leq 1, \text{ où } D_i \text{ est la distance}$$

séparant l'intersection courante du nœud cible.

15 L'invention vise également un terminal de communication destiné à être utilisé par un nœud mobile d'un réseau ad-hoc pour l'acheminement de paquets de données à un nœud cible du réseau ad-hoc, ledit réseau ad-hoc comprenant une pluralité de nœuds mobiles se déplaçant selon des voies de circulation d'un réseau géographique
20 déterminé, les voies de circulation formant entre elles une pluralité d'intersections. Le terminal selon l'invention comprend :

- des moyens pour sélectionner une intersection de destination parmi des intersections voisines et en fonction de conditions de trafic ;

25 - des moyens pour rechercher un nœud mobile voisin, plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que ledit nœud mobile ;

- des moyens pour transférer les paquets de données au nœud mobile voisin trouvé, si la recherche est positive.

Les avantages et réalisations particulières de ce terminal sont les mêmes que ceux associés au procédé selon l'invention décrit ci-avant.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le terminal selon l'invention comprend des moyens pour sélectionner l'intersection de destination en fonction de la proximité de celle-ci au nœud cible.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le terminal selon l'invention comprend des moyens pour maintenir à jour la position, la vitesse et la direction de déplacement de ses nœuds voisins proches.

Selon une autre caractéristique de l'invention, le terminal selon l'invention comprend des moyens pour sélectionner un nœud mobile voisin en fonction de la vitesse et/ou de la position d'avancement de ce nœud en direction de l'intersection de destination sélectionnée.

L'invention vise également un système de communication sans fil comprenant une pluralité de nœuds mobiles interconnectés selon une structure ad-hoc, ces nœuds se déplaçant selon des voies de circulation d'un réseau géographique déterminé formant entre elles une pluralité d'intersections, dans lequel les nœuds équipés d'un terminal de communication tel que décrit ci-dessus.

Dans un tel système, un paquet de données devant être acheminé vers un nœud cible sera routé de manière progressive vers celui-ci par sauts successifs de nœud en nœud sur des voies de circulation sur lesquelles se déplacent suffisamment de nœuds mobiles de manière à fournir un taux de connectivité adéquate.

En variante, les différentes étapes du procédé de routage de paquets de données décrit ci-dessus sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateurs.

En conséquence, l'invention vise également un programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de routage de paquets de données décrit ci-dessus, lorsque ce programme est exécuté par un ordinateur.

Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation et être sous la forme de code source, de code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme
5 souhaitable.

L'invention vise également un support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de routage de paquets de données décrit ci-avant.

10 Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comporter un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple une disquette (floppy disc) ou
15 un disque dur.

D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier
20 téléchargé sur un réseau de type Internet.

Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé de routage de paquets de données selon l'invention.

25

Brève description des dessins

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront de la description faite ci-dessous, en référence aux dessins annexés qui en illustrent un exemple de réalisation dépourvu de tout
30 caractère limitatif et sur lesquels :

- la figure 1 illustre de manière schématique un réseau routier dans lequel circulent des véhicules d'un réseau ad-hoc ;

5 - la figure 2 illustre sous forme d'organigramme, une itération du procédé de routage de paquets de données selon un mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 3 illustre sous forme d'organigramme, les étapes pour sélectionner une intersection de destination, selon un mode de réalisation de l'invention ;

10 - la figure 4 illustre de manière schématique, un exemple de mise en œuvre d'une sélection d'une intersection de destination, dans une configuration particulière d'un réseau ad-hoc inter-véhiculaire urbain ;

15 - les figures 5A et 5B illustrent dans le temps et de manière schématique, une mise en œuvre du relais de paquets P de données entre deux intersections successives, selon un mode de réalisation de l'invention ; et

- les figures 6A et 6B illustrent de manière schématique, un exemple de mise en œuvre de la stratégie de recouvrement ("recovery strategy") en présence d'un optimum local, selon un mode de réalisation de l'invention.

20

Description détaillée d'un mode de réalisation

L'invention va maintenant être décrite de manière détaillée dans le cadre d'un réseau ad-hoc inter-véhiculaire destiné notamment à fournir des services à fort degré de connectivité, tels que la navigation web, la
25 messagerie instantanée, le partage de fichiers ou les jeux en temps réel. Le protocole selon l'invention est également adapté à des applications telles que la sécurité routière ou la conduite coopérative.

30 La **figure 1** représente de manière schématique un réseau ad-hoc comprenant une pluralité de véhicules 1 à 14 se déplaçant selon des voies de circulation L1, L2, L3, C1, C2 d'un réseau routier 10 déterminé,

un véhicule source S émetteur de paquets P de données, et un véhicule cible auquel le paquet P de données est destiné.

Le réseau routier 10 comporte une pluralité de voies de circulation « horizontales » L1, L2, L3 et « verticales » C1, C2 dans le plan de la figure 1, ces voies L1, L2, L3, C1, C2 formant entre elles une pluralité d'intersections I1, I2, I3, I4, I5. Dans cet exemple, pour des raisons de simplicité, on a représenté des voies de circulation se croisant à angle droit. Toutefois, la présente invention s'applique indifféremment à toute configuration de plan de circulation comportant notamment des voies de circulation formant entre elles des angles quelconques.

Chaque véhicule du réseau ad-hoc est équipé, par exemple, d'un dispositif de localisation géographique tel qu'un récepteur GPS (« Global Positionning System ») couplé à un service de localisation du type GLS (« Grid Location Service »), de telle sorte que chaque véhicule du réseau ad-hoc soit localisable. Le récepteur GPS permet à un véhicule de déterminer sa propre position géographique tandis que le service GLS permet de lui fournir la position géographique instantanée des autres véhicules et en particulier celle du véhicule cible C.

De plus, chaque véhicule est apte à déterminer la position des intersections voisines qui sont localisées dans son entourage proche, à partir d'informations de localisation en combinaison avec des cartes routières pré-établies. Pour cela, chaque véhicule peut être équipé d'un appareil de navigation embarquée conventionnel, sur lequel sont enregistrées (pré-chargées) des cartes routières numériques relatives au réseau routier 10.

Chaque véhicule a connaissance du trafic routier aux alentours de chacune de ces intersections voisines. Cette information peut être par exemple fournie par un message balise transmis par chaque véhicule à ses voisins, de manière périodique (par exemple, à chaque seconde). De manière alternative, des capteurs de trafic routier (non représentés)

installés au niveau de chaque intersection peuvent informer tout véhicule se trouvant à proximité de cette intersection, des conditions de trafic routier.

La **figure 2** illustre, sous forme d'organigramme, une itération
5 du procédé de routage de paquets de données selon un mode de réalisation de l'invention.

Tout d'abord, on peut distinguer deux cas de figure en ce qui concerne l'étape initiale du procédé de routage.

Dans un premier cas, on considère que le véhicule source S
10 souhaite émettre, lors d'une étape initiale E0, les paquets P de données à destination du véhicule cible C.

Dans un deuxième cas, on considère que les paquets P de données ont déjà été émis par le véhicule source S et qu'ils sont reçus par un véhicule dénommé ci-après « véhicule porteur » lors d'une étape
15 d'initialisation E1.

Dans le premier cas, le véhicule source S sélectionne, lors d'une étape de sélection E3, une intersection de destination vers laquelle les paquets P de données vont être acheminés. Cette étape de sélection E3 sera décrite plus en détail par la suite en référence à la figure 3.

20 Dès qu'une intersection de destination est sélectionnée, on procède au relais des paquets P de données, en direction de cette intersection de destination, tel que décrit dans les étapes suivantes du procédé. Le nœud source est dénommé par la suite nœud porteur du paquet de données.

25 Ainsi, les paquets P de données sont marqués, par exemple dans leur en-tête, par la position géographique de l'intersection de destination sélectionnée. Chaque véhicule du réseau ad-hoc maintient à jour une table dite « table de voisinage », dans laquelle sont enregistrées des informations relatives à ses proches voisins, telles que leur position,
30 leur vitesse (amplitude) et sens de déplacement à un instant donné. La

mise à jour de ces tables de voisinage peut s'effectuer par exemple, par l'envoi d'un message de balise émis par chaque véhicule à ses voisins de manière périodique. Ainsi, chaque véhicule du réseau ad-hoc 10 émet à intervalle de temps Δt régulier (par exemple $\Delta t = 1s$), un message balise à
5 tous ses voisins.

On qualifie de « voisin » un véhicule qui se trouve dans le domaine de portée radio du véhicule porteur des paquets P de données. Par contraste, on qualifiera de « proche voisin » un véhicule voisin qui se trouve à une distance suffisamment courte du véhicule porteur pour
10 assurer une qualité de transmission ou de service (en respectant par exemple, un paramètre seuil de signal rapport sur bruit prédéterminé).

Le procédé passe ensuite à une étape E7 de recherche des proches voisins.

Dans le deuxième cas, c'est-à-dire que les paquets P de données
15 ont déjà été émis par le véhicule source S et qu'ils ont été reçus par un véhicule porteur lors de l'étape d'initialisation E1, on vérifie dans une étape E5 si le véhicule porteur est localisé au niveau de l'intersection de destination. Par "localisé au niveau de l'intersection", il faut comprendre que le véhicule porteur se trouve à l'intérieur d'une zone prédéfinie
20 englobant l'intersection de destination, par exemple un cercle ayant pour centre l'intersection de destination et pour rayon une valeur prédéterminée.

Si tel n'est pas le cas, c'est-à-dire que le véhicule porteur n'est pas localisé au niveau de l'intersection de destination, le procédé passe à
25 l'étape E7 de recherche.

Si tel est le cas, c'est-à-dire que le véhicule porteur est localisé au niveau de l'intersection de destination, le véhicule porteur sélectionne, lors de l'étape de sélection E3, une intersection de destination vers laquelle les paquets P de données vont être acheminés et on procède au relais des

paquets P de données, en direction de cette intersection de destination. Le procédé passe ensuite à l'étape E7 de recherche.

Lors de l'étape de recherche E7, on recherche les voisins du véhicule porteur des paquets P à relayer. Lors de cette même étape, on
5 peut effectuer la mise à jour des tables de voisinage précitées.

Ensuite, lors d'une étape de prédiction E9, on estime à partir des informations dernièrement enregistrées à un temps t_1 et contenues dans les tables de voisinage précitées (vitesse, sens de déplacement et position dernièrement connus au temps t_1), la position à l'instant courant
10 t_2 et postérieur à t_1 , des véhicules voisins. Ainsi, on prédit la position courante, c'est-à-dire la position à l'instant courant t_2 , des véhicules voisins détectés lors de l'étape de recherche E7.

Pour cela, on suppose, par exemple, que chacun des véhicules se déplace à une vitesse constante égale à celle préalablement détectée et
15 enregistrée à l'instant t_1 .

L'ensemble des étapes E7 et E9 vise donc à rechercher au moins un nœud mobile, voisin 2, 3 du nœud porteur 1 du paquet P de données et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que le nœud porteur.

Lors d'une étape de test E11, on détermine, à partir des positions estimées lors de l'étape de prédiction E9 précédente, s'il existe au moins un véhicule voisin auquel le véhicule porteur peut transférer ses paquets P, de sorte qu'à l'instant t_2 , la distance qui le séparerait de l'intersection de destination est inférieure à la distance qui séparerait cette
20 même intersection du véhicule porteur.

Dans le cas où l'on estime qu'à l'instant t_2 , au moins deux de ces véhicules seraient situés plus près de l'intersection de destination que le véhicule porteur lui-même, on sélectionne alors celui pour lequel cette distance est minimale.

Si un tel véhicule voisin existe, le véhicule porteur lui transmet donc les paquets P de données, lors d'une étape de transmission E13, marquant ainsi la fin d'une itération du procédé selon l'invention (étape E15).

5 Dans le cas contraire, c'est-à-dire si aucun véhicule voisin tel que sa position serait plus proche de l'intersection de destination que celle du véhicule porteur n'existe, alors on détermine, lors d'une étape de test E17, si le véhicule porteur du paquet P est suffisamment proche de l'intersection de destination.

10 Pour cela, on définit, à titre d'exemple, une limite supérieure de temps de parcours de référence correspondant à un délai fixe, que l'on compare au temps de parcours du véhicule porteur estimé pour atteindre l'intersection de destination. Cette limite supérieure est fixée de manière à occasionner un délai acceptable en fonction de la qualité de service
15 requise.

Dans le cas, où l'on estime que le véhicule porteur est suffisamment proche de l'intersection de destination, ce véhicule porte, lors d'une étape E19, le paquet P jusqu'au niveau de celle-ci.

20 Une itération du procédé de routage selon l'invention se termine dès lors que le véhicule porteur ayant porté les paquets P arrive au niveau de l'intersection de destination sélectionnée. Le procédé passe à l'étape E15.

Dans le cas contraire, c'est-à-dire si l'on estime que le véhicule porteur du paquet P de données n'est pas suffisamment proche de
25 l'intersection de destination considérée, lors d'une étape E21, le véhicule porte les paquets en direction de cette intersection :

- jusqu'à ce qu'il atteigne l'intersection de destination ; ou
- jusqu'à ce qu'un autre véhicule, plus proche de l'intersection de destination entre dans son champ/domaine de transmission.

30 Le procédé passe ensuite à l'étape E15.

A l'étape E15, le procédé commence une nouvelle itération à l'étape E1.

5 A titre illustratif, un exemple de mise en œuvre du procédé de routage selon l'invention décrit à la figure 2 va maintenant être décrit en référence à la figure 1.

Le véhicule source S se déplaçant sur la voie de circulation L2 souhaite émettre un paquet P à destination du véhicule cible C se déplaçant sur la voie de circulation C2. Pour cela, on suppose qu'il transmet le paquet P à un premier véhicule 1 situé au niveau d'une
10 première intersection I1, celle-ci étant l'intersection la plus proche du véhicule source S. Bien évidemment, on suppose également que le premier véhicule 1 se situe dans le domaine de portée radio du véhicule source S.

Lors de l'étape initiale E1, le premier véhicule 1 reçoit le paquet
15 P. Etant donné que le premier véhicule est localisé au niveau d'une intersection dite première intersection I1 (réponse positive au test E5), celui-ci sélectionne lors de l'étape de sélection E3, une intersection de destination.

Dans cet exemple, l'intersection de destination sélectionnée par
20 le premier véhicule 1 est constituée par une deuxième intersection référencée I2, étant donné que celle-ci est plus proche du véhicule cible C et que le trafic routier entre les première I1 et deuxième I2 intersections est dense.

Après avoir sélectionné la deuxième intersection I2 en tant
25 qu'intersection de destination, le premier véhicule 1 marque le paquet P par la position de la deuxième intersection I2. Le premier véhicule 1 procède ensuite au transfert du paquet P de données à un deuxième véhicule 2 selon l'étape E13.

Pour cela, il détecte lors de l'étape de recherche E7, ses plus
30 proches voisins. Dans cet exemple, il détecte la présence d'un deuxième

véhicule 2 et d'un troisième véhicule 3 en déplacement, ces deux véhicules étant suffisamment proches du premier véhicule 1 pour recevoir un signal électromagnétique portant les données à transmettre et émis par ce dernier 1.

5 Lors de l'étape de prédiction E9, le premier véhicule 1 calcule les positions des deuxième 2 et troisième 3 véhicules à un instant postérieur t_2 à partir des informations de position et de vitesse relatives à ces deux véhicules 2, 3 et contenues dans sa table de voisinage qui est maintenue à jour. Dans cet exemple, on suppose que la vitesse de
10 déplacement du troisième véhicule 3 est plus faible que celle du deuxième véhicule 2.

Lors de l'étape de test E11, le premier véhicule 1 décide de transmettre son paquet P au deuxième véhicule 2 bien que, en fonction des informations contenues dans la table de voisinage, ce dernier 2 soit
15 plus éloigné de la deuxième intersection I2 que le troisième véhicule 3. Ce choix est motivé par le fait que le troisième véhicule 3 progresse vers la deuxième intersection I2 moins rapidement que le deuxième véhicule 2 et que par conséquent, après prédiction des positions courantes, il est fort probable que le deuxième véhicule 2 soit plus proche de la deuxième
20 intersection I2 que le troisième véhicule 3.

Après émission du paquet P lors de l'étape E13, une première itération du procédé selon l'invention se termine (étape E15). Le procédé est ensuite réitéré pour chaque véhicule relayant le paquet P de données.

Le paquet P est reçu par le deuxième véhicule 2 lors de l'étape
25 initiale E1 qui initie une nouvelle itération du procédé décrit ci-dessus s'appliquant maintenant au deuxième véhicule 2. A l'issue de cette itération, le deuxième véhicule 2 transfère le paquet P à un quatrième véhicule 4 se situant au niveau de la deuxième intersection I2. Etant localisé au niveau d'une intersection, le quatrième véhicule 4 sélectionne
30 lors de l'étape de sélection E3 une nouvelle intersection de destination

(cinquième intersection I5) et transfère lors de l'étape E13 le paquet P à un cinquième véhicule 5 se déplaçant sur la voie de circulation C2 en direction du véhicule cible C.

5 Dans cet exemple, le cinquième véhicule 5 est le seul véhicule à se déplacer entre les quatrième I4 et cinquième I5 intersections en direction de cette dernière I5. Par conséquent, le cinquième véhicule 5 ne détecte aucun voisin le plus proche, qui soit plus proche de la cinquième intersection I5 que le cinquième véhicule 5.

10 Autrement dit, on est donc en présence d'une situation d'optimum local. Par conséquent, la stratégie de recouvrement selon l'invention s'applique conformément à la phase de recouvrement P3 comprenant les étapes E17, E19 ou E17, E21 déjà décrites. Ainsi, lors de l'étape E21, le cinquième véhicule 5 porte le paquet P jusqu'au niveau de la cinquième intersection I5.

15 Finalement, on suppose qu'au moment où le cinquième véhicule 5 atteint la cinquième intersection I5, celui-ci entre dans le domaine de portée radio du véhicule cible C, de sorte qu'il peut lui transmettre directement le paquet P, sans relais supplémentaire.

20 La **figure 3** illustre sous forme d'organigramme, les étapes réalisées permettant à un véhicule porteur d'un paquet P de données de sélectionner une intersection de destination.

Lors d'une étape initiale E30, le véhicule porteur du paquet P arrive au niveau d'une intersection, dénommée par la suite « intersection courante » noté I_i.

25 Lors d'une étape suivante E32, le véhicule détermine la position d'intersections voisines localisées dans son entourage proche. Cette étape de détermination E32 s'effectue, par exemple, à partir des informations géographiques d'une carte routière numérique pré-chargée sur un appareil de navigation embarqué conventionnel, en tenant compte de la position
30 instantanée du véhicule en question et de la position du véhicule cible C.

Pour chaque intersection voisine localisée notée I_j , on procède à une phase P1 de calcul, de manière à déterminer un score noté S_j décrit ci-après et destiné à être utilisé pour sélectionner l'intersection de destination vers laquelle le paquet P doit être acheminé.

5 Ainsi, la phase de calcul P1 est réitérée autant de fois qu'il y a d'intersections voisines détectées. Dans ce mode de réalisation, le score S_j calculé pour chaque intersection de destination I_j candidate dépend notamment de deux paramètres : une densité de trafic routier et une distance géométrique.

10 La phase P1 de calcul comporte une première étape E34 qui consiste à obtenir des informations relatives au trafic routier existant sur la voie de circulation reliant l'intersection courante I_i à une intersection de destination voisine I_j . Ces informations sont la densité de trafic routier en temps réel sur cette voie, constituant ainsi un premier paramètre à
15 prendre en compte dans le calcul du score S_j d'une intersection de destination I_j candidate, ce paramètre étant noté T_{ij} par la suite.

 Lors d'une deuxième étape E36, on détermine la distance qui sépare le véhicule cible C de l'intersection de destination I_j candidate. Cette distance, qui sera notée par la suite D_j , constitue un deuxième
20 paramètre à prendre en compte pour calculer le score S_j de l'intersection de destination I_j .

 A titre d'exemple, cette distance D_j est calculée à partir des informations géographiques d'une carte routière numérique pré-chargée sur un appareil de navigation embarquée conventionnel et en corrélation
25 avec les informations de position du véhicule cible C qui sont mises à jour régulièrement.

 Lors d'une troisième étape E38, on calcule le score S_j de l'intersection de destination I_j candidate.

 Ce score S_j comporte une première composante notée $f(T_{ij})$ liée
30 à la densité de trafic routier (T_{ij}) et une deuxième composante notée $g(D_j)$

(dénommée score Distance) liée à la distance (D_j), ces deux composantes étant respectivement dénommées « score Trafic » et « score Distance ».

Le score S_j de l'intersection de destination I_j candidate est calculé selon la formule suivante (équation 1) :

$$5 \quad S_j = \alpha \times f(T_{ij}) + \beta \times g(D_j), \text{ où}$$

T_{ij} représente la densité de trafic routier sur la voie de circulation reliant l'intersection courante I_i à l'intersection de destination candidate I_j ;

10 D_j représente la distance curvimétrique du chemin de routage qui relie l'intersection de destination I_j candidate au véhicule cible C ; et

α et β représentent des facteurs de correction, permettant d'attribuer un poids propre à chacune des deux composantes du score S_j . (Par exemple, si l'on souhaite accorder une plus grande importance au trafic routier T_{ij} , qu'à la distance D_j , on choisira une valeur de α et de β ,
15 telles que $\alpha > \beta$).

Le score Trafic $f(T_{ij})$ est obtenu en comparant le nombre X actuel de véhicules circulant entre l'intersection courante I_i et l'intersection de destination I_j , à un nombre de référence N de véhicules minimum qui permettraient d'assurer une continuité de transmission des paquets de
20 données. Ce nombre de référence correspond à N véhicules de portée radio identique et régulièrement répartis entre l'intersection courante I_i et l'intersection de destination I_j , de sorte que deux véhicules successifs sont séparés d'une distance égale à deux fois le rayon de portée radio d'un véhicule.

25 Ainsi, on peut définir le nombre de référence N comme suit :

$$N = \text{Int} \left\{ \frac{D_{ij}}{2 \times R} \right\}, \text{ où}$$

D_{ij} représente la distance entre l'intersection courante I_i et l'intersection de destination I_j ;

R représente le rayon de portée radio d'un véhicule (supposé identique pour chaque véhicule) ; et

$\text{Int} \{ \}$ est la fonction qui détermine la partie entière de son argument.

- 5 On définit différentes valeurs du score Trafic qui correspondent chacune à un niveau de densité de trafic, comme représenté dans **la table 1** ci-dessous. Conformément à cette table, si le nombre de véhicules X est compris entre N et 2.N, le score Trafic attribué est de 0.6, ce qui correspond à une densité de trafic moyennement élevée.

10

Nombre de véhicules X	Densité de Trafic	Score Trafic
$0 \leq X < N/4$	très faible	0.0
$N/4 \leq X < N/2$	faible	0.2
$N/2 \leq X < N$	moyenne	0.4
$N \leq X < 2.N$	moyennement élevée	0.6
$2.N \leq X < 3.N$	élevée	0.8
$X \geq 3.N$	très élevée	1

Table 1.

Le score Distance est déterminé par la formule suivante :

$$g(D_j) = 1 - \frac{D_j}{D_i} \quad (\text{équation 2}), \text{ tel que } -1 \leq g(D_j) \leq 1, \text{ où } D_i \text{ est la}$$

- 15 distance séparant l'intersection courante I_i du véhicule cible C.

Ainsi, lorsque l'intersection candidate I_j nous rapproche du véhicule cible par rapport à l'intersection courante I_i (c'est-à-dire $D_j < D_i$) on obtient un score Distance positif. Au contraire, lorsque l'intersection candidate I_j nous éloigne du véhicule cible C (c'est-à-dire $D_j > D_i$), on obtient un score Distance négatif, ce qui a pour effet de défavoriser le choix d'une telle intersection.

20

Une fois, le score S_j calculé pour chaque intersection de destination I_j , on sélectionne l'intersection de destination I_j pour laquelle la valeur du score S_j est maximale, lors d'une étape de sélection E40.

L'intersection de destination sélectionnée est l'intersection qui est géographiquement la plus proche du véhicule cible C et qui présente un niveau (ou densité) de trafic routier le plus élevé.

Nous allons maintenant décrire à titre d'exemple non limitatif un exemple de sélection d'une intersection de destination, dans une configuration particulière d'un réseau ad-hoc inter-véhiculaire urbain en référence aux figures 3 et 4.

La **figure 4** représente de manière schématique un réseau routier 10 similaire à celui de la figure 1, comprenant une pluralité de voies de circulation L1, L2, L3, C1, C2, C3 formant entre elles des intersections Ii, I10, I20, I30. Les entités représentées sur ces voies de circulations sont des véhicules formant un réseau ad-hoc et qui permettent de relayer le paquet P de données entre le véhicule source S et le véhicule cible C.

On considère que le véhicule source S arrivant au niveau d'une intersection Ii souhaite transmettre au véhicule cible C, le paquet de données P. De manière équivalente, on pourrait, bien évidemment considérer un véhicule porteur du paquet de données P à relayer.

Pour cela, le véhicule source S doit choisir une direction d'acheminement du paquet P en sélectionnant une intersection de destination.

Lors de l'étape de détermination E32 déjà décrite, le véhicule source S détecte trois intersections de destination : une première, une deuxième et une troisième intersections, référencées respectivement I10, I20, I30 sur la figure 4, celles-ci étant, à cet instant, des intersections de destination candidates pour l'acheminement du paquet P de données.

Afin de déterminer vers quelle intersection de destination, le paquet P doit être acheminé, le véhicule source S calcule le score S_j de ces trois intersections, conformément aux étapes de la phase de calcul P1 décrites ci-avant.

Par la suite, on notera S_1 , S_2 , S_3 le score respectif des première, deuxième et troisième intersections de destination I_{10} , I_{20} , I_{30} candidates.

Comme illustré sur la figure 4, les conditions de trafic dans cet exemple sont telles que le trafic routier Ti_2 (zone grisée sur la figure 4) sur la portion de la voie de circulation L_2 reliant l'intersection courante I_i à la deuxième intersection de destination I_{20} est plus dense que le trafic routier Ti_3 sur la portion de la voie de circulation C_1 reliant l'intersection courante I_i à la troisième intersection de destination I_{30} , qui lui-même est plus dense que le trafic routier Ti_2 sur la portion de la voie de circulation C_1 reliant l'intersection courante I_i à la première intersection de destination I_{10} . Autrement dit, on a la relation suivante : $Ti_2 > Ti_3 > Ti_1$ non indiquée sur la figure 4.

Comme illustré sur la figure 4, la deuxième intersection de destination I_{20} est l'intersection de destination la plus proche du véhicule cible C . En effet, la distance curvimétrique D_2 séparant la deuxième intersection de destination I_{20} est inférieure à la distance curvimétrique D_3 séparant la troisième intersection I_{30} du véhicule cible C , qui elle-même est inférieure à la distance curvimétrique D_1 séparant la première intersection de destination I_{10} du véhicule cible C . Autrement dit, on a la relation suivante : $D_2 < D_3 < D_1$.

Ainsi, la deuxième intersection de destination I_{20} obtient le plus haut score S_2 ($S_2 > S_3 > S_1$), étant donné qu'elle est la plus proche du véhicule cible C et qu'elle présente une densité de trafic la plus élevée.

C'est donc vers cette intersection I_{20} que le paquet P de données va être acheminé, par l'intermédiaire des nombreux véhicules qui se déplacent vers celle-ci I_{20} .

Un exemple de mise en œuvre du relais d'un paquet P de données par l'intermédiaire de véhicules situés entre deux intersections

successives, selon un mode particulier de réalisation de l'invention va être maintenant décrit en référence aux figures 5A et 5B.

La **figure 5A** représente une voie V de circulation entre deux intersections consécutives notées respectivement I_n et I_{n+1} à un instant donné N_1 .

La **figure 5B** représente la même voie V de circulation que celle représentée à la figure 5A, mais à un instant ultérieur noté N_2 (tel que $N_2 > N_1$). Cette nouvelle configuration est obtenue par l'étape de prédiction E9 de la figure 2, cette étape permettant d'estimer la position courante des véhicules circulant sur cette voie de circulation à partir des informations de position et de vitesse de ceux-ci enregistrées et maintenues à jour par chaque nœud mobile.

Dans cet exemple, nous considérons qu'un véhicule porteur R0 du paquet P de données, se déplaçant sur la voie V en direction de l'intersection de destination référencée I_{n+1} , souhaite relayer ce dernier vers l'intersection de destination I_{n+1} . Pour cela, le véhicule porteur R0 va utiliser des véhicules se déplaçant sur la voie V et à destination de l'intersection de destination I_{n+1} , conformément à l'invention.

Comme illustré sur les figures 5A et 5B, quatre véhicules (R1, R2, R3, R4) sont localisés à l'intérieur d'un domaine de portée radio du véhicule porteur R0, ce domaine étant référencé par K.

Ainsi, le véhicule porteur R0 est susceptible de communiquer avec un ou plusieurs de ces véhicules afin d'acheminer le paquet P de données vers l'intersection de destination I_{n+1} .

Conformément à la figure 5A, on suppose à titre d'exemple, qu'à l'instant N_1 :

- un premier et deuxième véhicules respectivement référencés par R1 et R2 se déplacent sur la voie de circulation V dans la même direction et suivant le même sens que le véhicule porteur R0, c'est-à-dire en direction de l'intersection de destination I_{n+1} ;

- le premier véhicule R1 possède une vitesse de déplacement supérieure à celle du deuxième véhicule R2 ; et

- un troisième et quatrième véhicules respectivement référencés par R3 et R4 se déplacent sur la voie de circulation V, mais dans un sens
5 de circulation opposé à celui du véhicule porteur R0.

Conformément au protocole de routage selon l'invention, le véhicule porteur R0 transfère le paquet P de données au premier véhicule R1 étant donné qu'il estime qu'à l'instant courant N_2 , le premier véhicule R1 aura atteint une position la plus proche de l'intersection de destination
10 I_{n+1} , comme illustré sur la figure 5B.

Toutefois, on notera que sans cette étape de prédiction qui prend en compte notamment la vitesse et le sens de déplacement des véhicules voisins, le véhicule porteur R0 aurait choisi de transférer son paquet P au quatrième véhicule R4 étant donné qu'à l'instant N_1 , le
15 véhicule le plus proche de l'intersection de destination I_{n+1} est le quatrième véhicule R4.

De manière avantageuse, l'étape de prédiction selon l'invention prend en considération le fait que les quatrième R4 et troisième R3 véhicules se déplacent dans un sens opposé au sens de déplacement du
20 véhicule porteur R0. De ce fait, le véhicule porteur R0 exclut ces deux véhicules pour le relai du paquet P.

Un exemple de mise en œuvre de la stratégie de recouvrement (« recovery strategy ») selon un mode particulier de réalisation de l'invention va maintenant être décrit en référence aux figures 6A et 6B.

25 L'exemple de la figure 6A illustre le cas où, à l'instant N_1 , le véhicule porteur R0 cherchant à relayer son paquet P ne trouve aucun véhicule voisin se déplaçant entre le véhicule porteur R0 et l'intersection de destination I_{n+1} .

Dans ce cas, on utilise une solution de recouvrement conforme
30 au procédé selon l'invention, pour empêcher le paquet P d'être bloqué

dans un « minimum local », le véhicule porteur R0 étant le véhicule le plus proche de l'intersection de destination I_{n+1} .

Cette solution consiste à faire porter le paquet P par le véhicule porteur R0 jusqu'au niveau de l'intersection de destination I_{n+1} . Cette
5 stratégie peut être envisagée à condition que le véhicule porteur R0 ne soit pas trop éloigné de cette intersection de destination I_{n+1} (étape E19 de la figure 2).

L'exemple de la figure 6B illustre la mise en œuvre d'une variante de la solution de recouvrement précitée, selon laquelle le véhicule
10 porteur R0 porte le paquet P jusqu'à ce qu'un véhicule adéquat entre dans son domaine de portée radio, de sorte que le paquet P puisse lui être transféré.

Cette variante est utilisée notamment, dans le cas où le véhicule porteur R0 n'est pas suffisamment proche de l'intersection de destination
15 I_{n+1} (étape 21 de la figure 2).

REVENDEICATIONS

1. Procédé de routage d'au moins un paquet (P) de données entre un nœud source (S) et un nœud cible (C) dans un réseau ad-hoc comprenant
- 5 une pluralité de nœuds mobiles (1-14 ; R0-R5), lesdits nœuds se déplaçant selon des voies de circulation (L1, L2, L3, C1, C2, C3) d'un réseau géographique (10) déterminé, lesdites voies de circulation formant entre elles une pluralité d'intersections (I1-I6 ; Ii, I10, I20, 30 ; In, In+1), le procédé étant caractérisé en ce qu'il comporte :
- 10 - une étape de sélection (E3) par un nœud porteur (1 ; S) d'un paquet (P) de données à acheminer au nœud cible (C) d'une intersection de destination (I2 ; I20), ladite intersection de destination (I2 ; I20) étant sélectionnée parmi des intersections voisines, dites intersections candidates, et en fonction de conditions de trafic ;
- 15 - une étape de recherche (E7;E9) d'au moins un nœud mobile, voisin (2, 3) du nœud porteur (1) du paquet (P) de données et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée (I2) que le nœud porteur ;
- si au moins un nœud mobile voisin (2) a été trouvé, une étape de
- 20 transfert (E13) du paquet (P) de données du nœud porteur (1) du paquet de données audit nœud voisin (2) trouvé, de manière à acheminer ledit paquet de données vers l'intersection de destination (I2) sélectionnée.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'étape de
- 25 sélection (E3) d'une nouvelle intersection de destination est exécutée si le nœud porteur (1) du paquet de données est localisé (E5) au niveau de l'intersection de destination sélectionnée, dite intersection courante.
3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que lors de l'étape
- 30 (E3) de sélection, le nœud mobile porteur (1 ; S) du paquet de données

sélectionne une intersection de destination (I2 ; I20) parmi les intersections candidates en fonction au moins de conditions de trafic en temps réel sur une voie de circulation reliant l'intersection candidate respective (I2 ; I20) à l'intersection courante (I1 ; Ii).

5

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit nœud mobile porteur (1 ; S) sélectionne l'intersection de destination (I2 ; I20) parmi les intersections candidates en fonction de la proximité de l'intersection candidate (I2 ; I20) au nœud cible (C).

10

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que si aucun nœud mobile voisin (2) n'a été trouvé lors de l'étape de recherche (E7-E9), le nœud porteur porte le paquet jusqu'à ce qu'il détecte un nouveau nœud voisin.

15

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que chaque nœud maintient à jour des mesures relatives à la position, la vitesse et la direction de déplacement de ses nœuds voisins et en ce que l'étape de recherche d'au moins un nœud mobile, voisin du nœud porteur du paquet de données et plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que le nœud porteur, comprend une étape de prédiction (E9), dans laquelle, à partir de ces mesures, on prédit à un instant courant la position courante d'un nœud voisin.

20

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit nœud mobile porteur (1 ; S) sélectionne l'intersection de destination (I2 ; I20) parmi les intersections candidates pour laquelle un score (Sj) prend une valeur maximum, le score étant calculé selon la formule suivante : $S_j = \alpha \times f(T_{ij}) + \beta \times g(D_j)$, où

25

30

T_{ij} représente la densité de trafic de nœuds en déplacement entre l'intersection courante (I_i) et l'intersection de destination (I_j) ;

D_j représente la distance curvimétrique du chemin de routage qui relie l'intersection de destination (I_j) au nœud cible (C) ;

5 α et β représentent des facteurs de correction ;

f est une fonction de densité du trafic routier et telle que $0 \leq f(T_{ij}) \leq 1$; et

$$g(D_j) = 1 - \frac{D_j}{D_i}, \text{ tel que } -1 \leq g(D_j) \leq 1, \text{ où } D_i \text{ est la distance}$$

séparant l'intersection courante (I_i) du nœud cible (C).

10

8. Terminal de communication destiné à être utilisé par un nœud mobile (S ; 1) d'un réseau ad-hoc pour l'acheminement de paquets (P) de données à un nœud cible (C) du réseau ad-hoc, ledit réseau ad-hoc comprenant une pluralité de nœuds mobiles (1-14) se déplaçant selon des
15 voies de circulation (L1, L2, L3, C1, C2, C3) d'un réseau géographique (10) déterminé, lesdites voies de circulation formant entre elles une pluralité d'intersections ($I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6$; $I_i, I_{i0}, I_{20}, I_{30}$; I_n, I_{n+1}), ledit terminal étant caractérisé en ce qu'il comporte :

- des moyens pour sélectionner une intersection de destination (I_2 ;
20 I_{20}) parmi des intersections voisines et en fonction de conditions de trafic;
- des moyens pour rechercher un nœud mobile voisin, plus proche de l'intersection de destination sélectionnée que ledit nœud mobile ;
- des moyens pour transférer les paquets (P) de données audit nœud mobile voisin trouvé, si la recherche est positive.

25

9. Système de communication sans fil comprenant une pluralité de nœuds mobiles (1 à 14) interconnectés selon une structure ad-hoc, lesdits nœuds se déplaçant selon des voies de circulation (L1, L2, L3, C1, C2, C3) d'un réseau géographique (10) déterminé, lesdites voies de circulation formant

entre elles une pluralité d'intersections (I1, I2, I3, I4, I5, I6 ; Ii , I10, I20, I30), le système étant caractérisé en ce que lesdits nœuds sont équipés d'un terminal de communication selon la revendication 8.

- 5 10. Programme d'ordinateur comportant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de routage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, lorsque ledit programme est exécuté par un ordinateur.

- 10 11. Support d'enregistrement lisible par un ordinateur sur lequel est enregistré un programme d'ordinateur comprenant des instructions pour l'exécution des étapes du procédé de routage selon l'une quelconque des revendications 1 à 7.

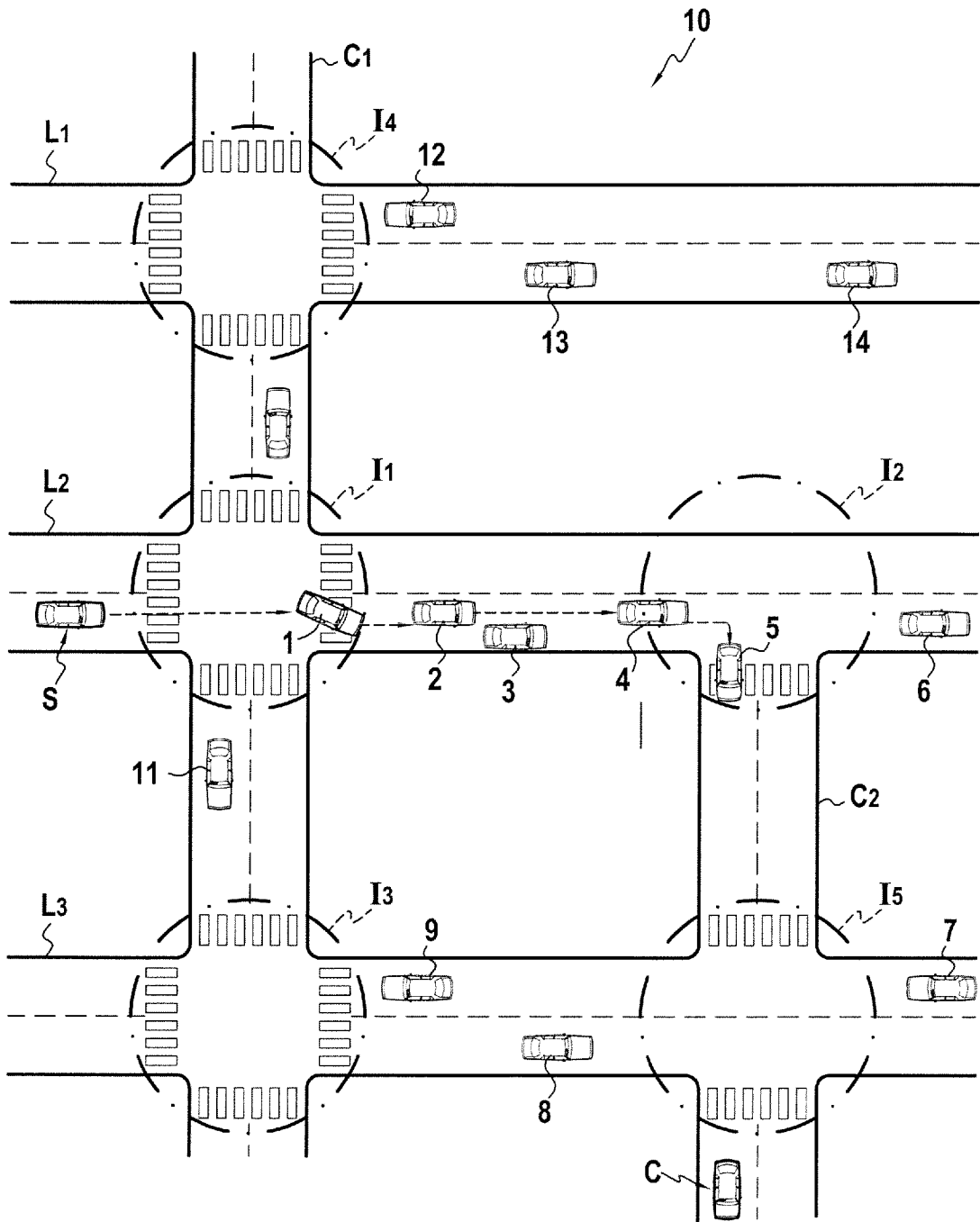


FIG.1

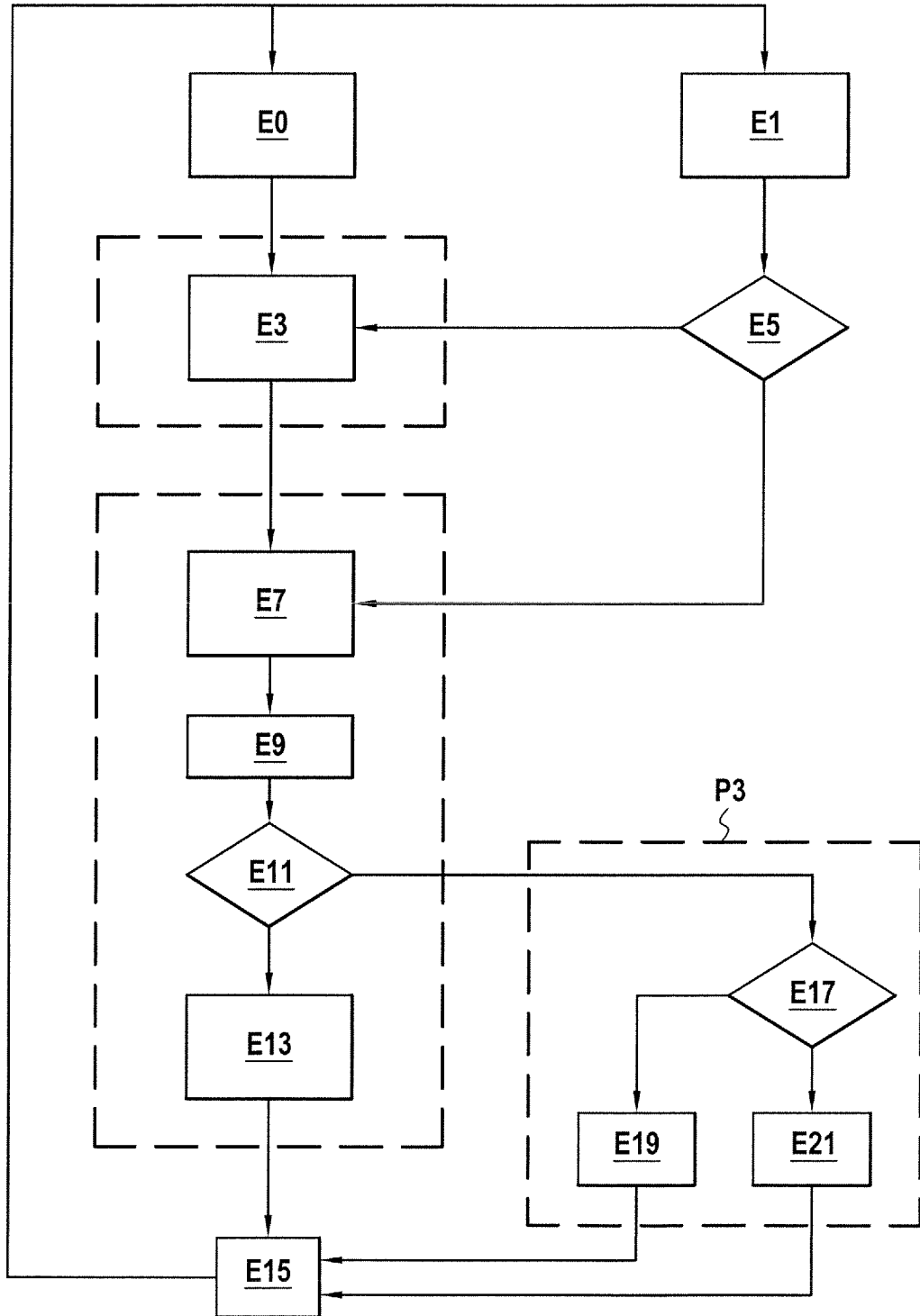


FIG.2

3/6

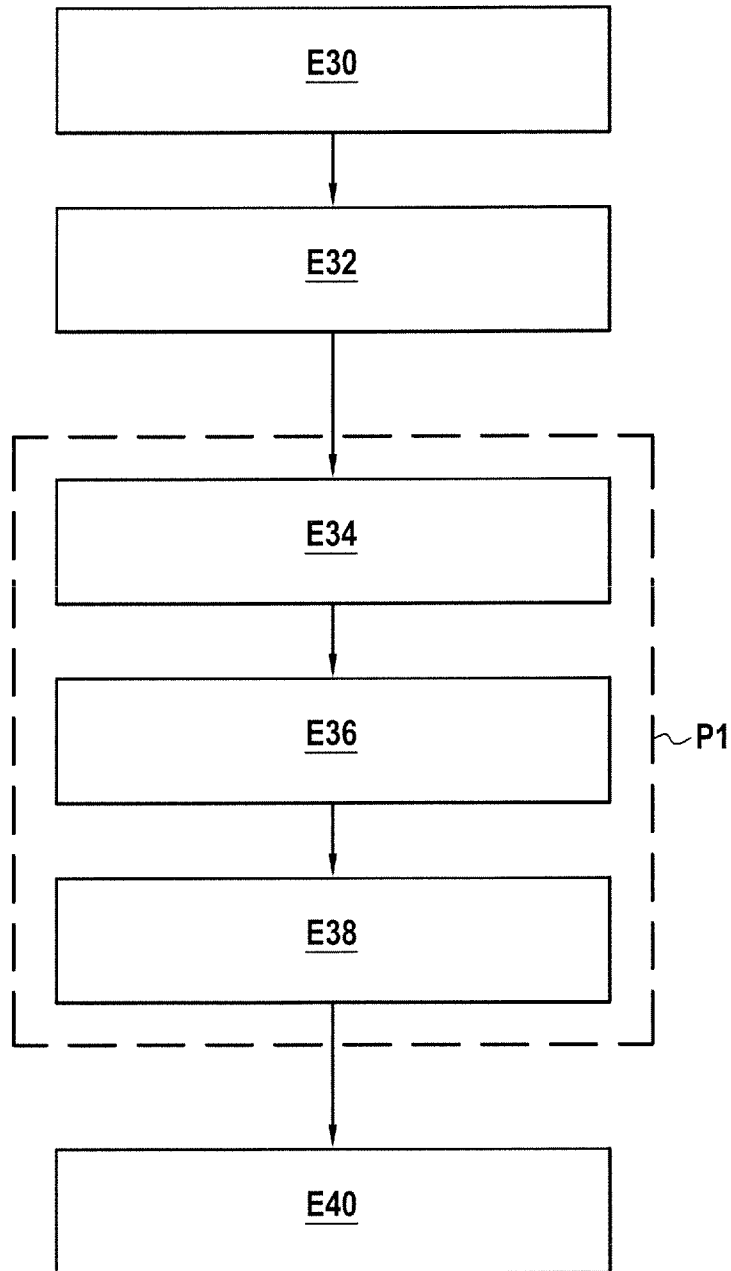


FIG.3

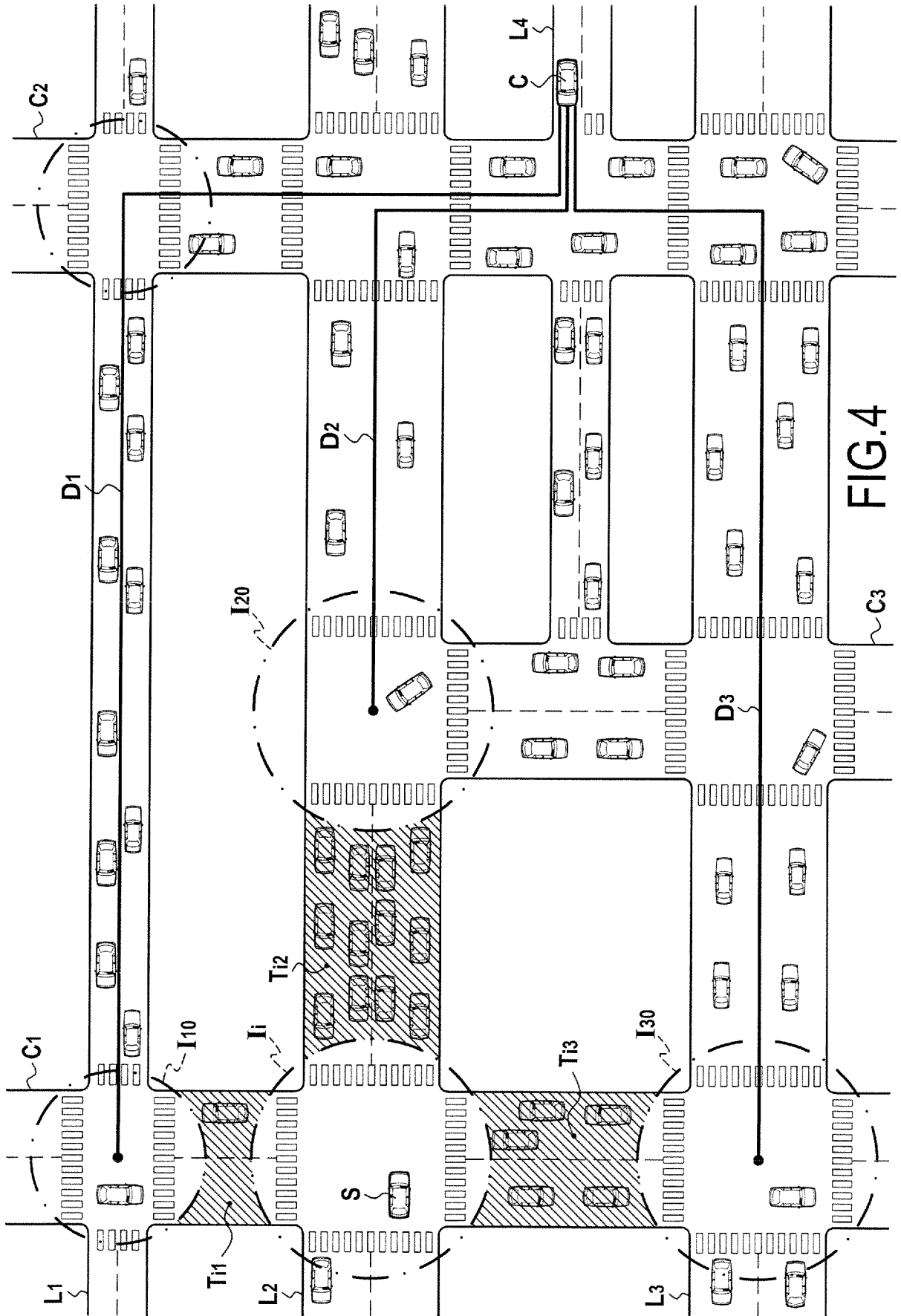


FIG.4

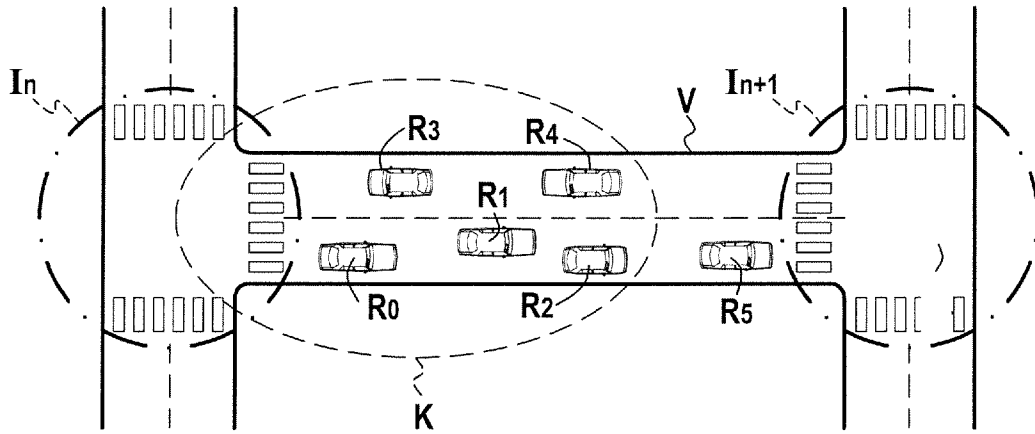


FIG. 5A

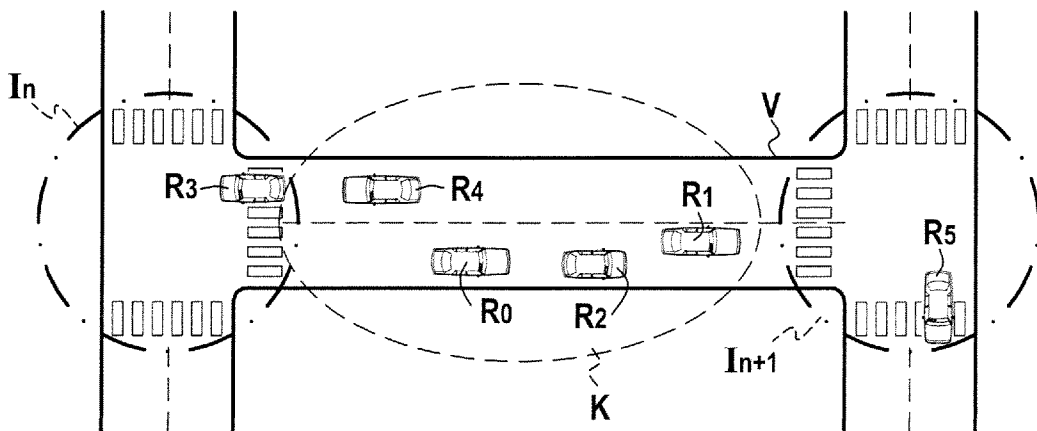


FIG. 5B

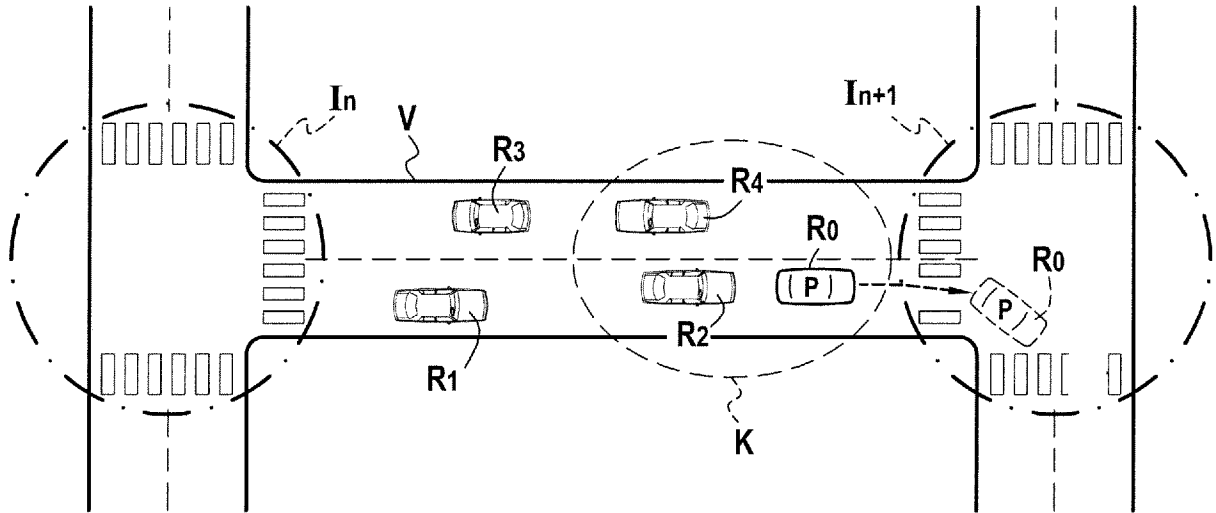


FIG.6A

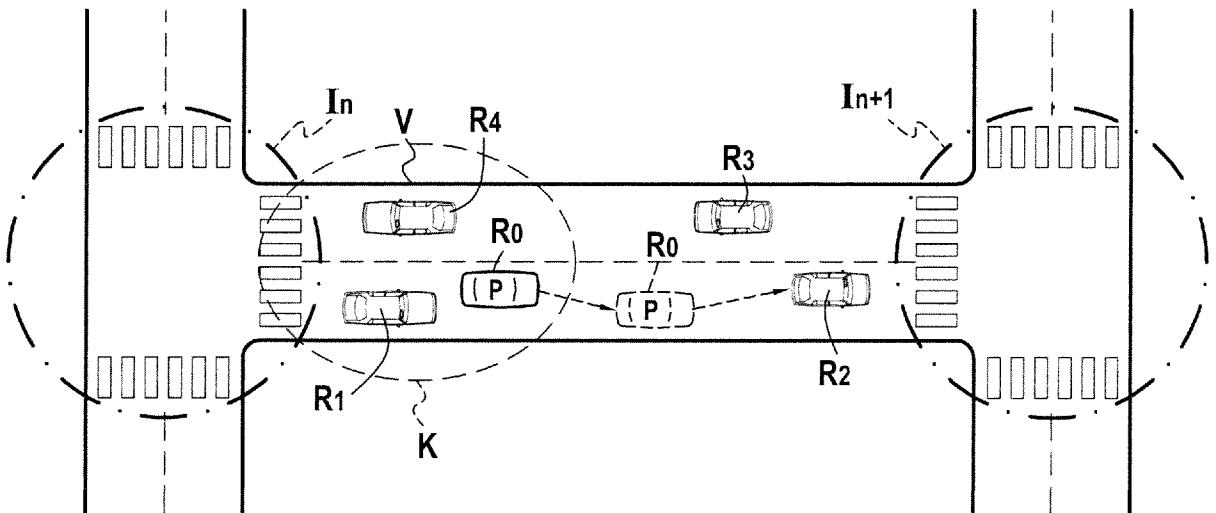


FIG.6B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2007/051279

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04L12/56 H04L12/28

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

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 practical, 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.
	-/--	

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 document 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

3 September 2007

Date of mailing of the international search report

26.09.07

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

MARTINOZZI, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2007/051279

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	<p>LOCHERT C ET AL: "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments" INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2003. PROCEEDINGS. IEEE JUNE 9-11, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 9 June 2003 (2003-06-09), pages 156-161, XP010645867 ISBN: 0-7803-7848-2 abstract page 156, right-hand column, last paragraph page 157, left-hand column, paragraphs 3,4 page 157, right-hand column, last paragraph page 158, left-hand column, last paragraph - page 159, left-hand column, paragraph 1 page 159, right-hand column, paragraphs 1,2,4 page 161, left-hand column, paragraphs 2,3 -----</p>	1-11
A	<p>WO 02/067510 A2 (SIEMENS AG [DE]; GRIMMINGER JOCHEN [DE]; HUTH HANS-PETER [DE]) 29 August 2002 (2002-08-29) the whole document -----</p>	1-11
A	<p>WO 99/46899 A2 (SWISSCOM AG [CH]; LOHER URS [CH]) 16 September 1999 (1999-09-16) abstract page 2, last paragraph - page 3, paragraph 1 page 4, last paragraph -----</p>	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2007/051279

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 02067510	A2	29-08-2002 DE 10108555 A1	12-09-2002
WO 9946899	A2	16-09-1999 AT 211594 T	15-01-2002
		AU 1234799 A	27-09-1999
		CA 2321918 A1	16-09-1999
		DE 69803411 D1	28-02-2002
		DE 69803411 T2	01-08-2002
		JP 2004513530 T	30-04-2004

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2007/051279

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
 INV. H04L12/56 H04L12/28

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

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
	-/--	

 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

3 septembre 2007

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26.09.07

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, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

MARTINOZZI, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2007/051279

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	<p>LOCHERT C ET AL: "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments" INTELLIGENT VEHICLES SYMPOSIUM, 2003. PROCEEDINGS. IEEE JUNE 9-11, 2003, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, 9 juin 2003 (2003-06-09), pages 156-161, XP010645867 ISBN: 0-7803-7848-2 abrégé page 156, colonne de droite, dernier alinéa page 157, colonne de gauche, alinéas 3,4 page 157, colonne de droite, dernier alinéa page 158, colonne de gauche, dernier alinéa - page 159, colonne de gauche, alinéa 1 page 159, colonne de droite, alinéas 1,2,4 page 161, colonne de gauche, alinéas 2,3</p>	1-11
A	<p>WO 02/067510 A2 (SIEMENS AG [DE]; GRIMMINGER JOCHEN [DE]; HUTH HANS-PETER [DE]) 29 août 2002 (2002-08-29) le document en entier</p>	1-11
A	<p>WO 99/46899 A2 (SWISSCOM AG [CH]; LOHER URS [CH]) 16 septembre 1999 (1999-09-16) abrégé page 2, dernier alinéa - page 3, alinéa 1 page 4, dernier alinéa</p>	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2007/051279

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 02067510	A2	29-08-2002	DE 10108555 A1	12-09-2002
WO 9946899	A2	16-09-1999	AT 211594 T	15-01-2002
			AU 1234799 A	27-09-1999
			CA 2321918 A1	16-09-1999
			DE 69803411 D1	28-02-2002
			DE 69803411 T2	01-08-2002
			JP 2004513530 T	30-04-2004