

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 130 104**

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

②① N° d'enregistrement national : **21 13027**

⑤① Int Cl⁸ : **H 04 L 45/52 (2022.01), H 04 L 45/60, H 04 W 80/00**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Méthodes et systèmes de routage dans un réseau maillé sans fil.

②② Date de dépôt : 06.12.21.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 09.06.23 Bulletin 23/23.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 18.10.24 Bulletin 24/42.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : **NOVATEL NETWORKS SAS — FR.**

⑦② Inventeur(s) : **TLICH Mohamed.**

⑦③ Titulaire(s) : **NOVATEL NETWORKS SAS.**

⑦④ Mandataire(s) : **Nasright.**

FR 3 130 104 - B1



Description

Titre de l'invention : Méthodes et systèmes de routage dans un réseau maillé sans fil

- [0001] La présente invention a trait au domaine technique des réseaux maillés sans fil, et plus particulièrement aux méthodes et systèmes de routage dans de tels réseaux.
- [0002] Les réseaux maillés sans fil (plus connu sous le nom anglais « Wireless Mesh Network ») visent à fournir une connectivité fiable entre une pluralité de nœuds mis en réseau via des liaisons sans fil. La nature du médium sans fil combinée à une éventuelle dynamique de la topologie du réseau et/ou à une diversité des applications, notamment temps réel, supportées par le réseau font du routage au sein des réseaux maillés sans fil une fonctionnalité critique qui peut avoir une forte influence sur les performances et la stabilité de ces réseaux.
- [0003] Pour cela, les routeurs des réseaux maillés sans fil sont souvent dotés d'une pluralité d'interfaces de communication et de protocoles de routage. Pour chaque protocole, des métriques de routage qui lui sont intrinsèques sont mesurées pour une évaluation de ses performances via des interfaces de communication associées aux métriques de routage mesurées. En fonction des qualités des liens perçues par les différents protocoles de routage, un même protocole de routage est utilisé par l'ensemble des routeurs du réseau maillé sans fil. Un tel processus de sélection du protocole de routage à utiliser est réitéré à la demande pour répondre à un changement de topologie et/ou des applications supportées.
- [0004] Un inconvénient d'une telle approche de sélection est que l'évaluation des performances des protocoles de routage se base sur des métriques qui leurs sont intrinsèques et n'intègre pas l'ensemble des contraintes qui entrent en jeu dans le routage et peuvent influencer sur sa qualité. La plupart des protocoles de routage optimisent, en effet, des objectifs prédéfinis qui leurs sont propres (le nombre de sauts, la qualité du lien, ou la charge du réseau par exemple) à réaliser sur une interface de communication. Cependant, l'optimisation des performances du réseau maillé sans fil sur la base d'une première métrique de routage ne peut, parfois, être sans impact sur les performances du réseau maillé sans fil lorsqu'il opère sur la base d'une deuxième métrique de routage. Il en résulte qu'en environnement réel, les algorithmes de routage choisis selon les approches de sélection actuelles sont inaptes à offrir les meilleures performances quel que soit le scénario d'utilisation.
- [0005] En outre, compte tenu de la mobilité des routeurs et des contraintes spécifiques aux applications supportées et/ou à un ou plusieurs routeurs du réseau maillé sans fil, un seul protocole de routage est souvent inapte à capter et répondre finement aux besoins

de ce réseau.

- [0006] Un objet de la présente invention est de proposer des méthodes et dispositifs de contrôle des routeurs permettant d'améliorer les performances des réseaux maillés sans fil.
- [0007] Un autre objet de la présente invention est d'adapter dynamiquement l'utilisation des protocoles de routage aux besoins et capacités de chaque nœud d'un réseau maillé sans fil.
- [0008] A cet effet, il est proposé, en premier lieu, un dispositif de contrôle d'un routeur intégrant une pluralité de protocoles de routage et une pluralité d'interfaces de communication, ce dispositif de contrôle étant configuré pour
- récupérer une liste de nœuds voisins du routeur;
 - pour au moins un premier nœud voisin de ladite liste, sélectionner, en fonction d'au moins une première donnée, un premier protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles de routage pour un routage vers ce premier nœud voisin;
 - pour chaque interface de communication de ladite pluralité d'interfaces de communication, mesurer au moins une métrique de routage associée à cette interface de communication pour un routage vers le premier nœud;
 - pour chaque interface de communication, calculer une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à cette interface de communication, cette formule utilisant une mesure d'au moins une métrique de routage associée à cette interface de communication;
 - sélectionner, sur la base des métriques génériques calculées, une première interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces de communication pour un routage vers le premier nœud par le premier protocole de routage.
- [0009] Diverses caractéristiques supplémentaires peuvent être prévues, seules ou en combinaison :
- ladite première donnée comprend une donnée de localisation du routeur par rapport à une zone de référence et/ou du premier nœud voisin par rapport au routeur ;
 - ladite première donnée comprend une donnée de configuration du routeur ;
 - la formule prédéfinie est une combinaison d'une pluralité de métriques de routage associées à ladite cette interface de communication de sorte que la métrique générique calculée soit comprise dans un intervalle prédéfini associé à la pluralité d'interfaces de communication ;
 - le dispositif de contrôle est, en outre, configuré pour sélectionner, pour un deuxième nœud voisin de ladite liste, en fonction d'au moins une deuxième donnée, un deuxième protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles de routage pour un routage vers ce deuxième nœud voisin, le deuxième protocole de routage étant différent du premier protocole de routage;

sélectionner, sur la base des métriques génériques calculées, une deuxième interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces de communication pour un routage vers le deuxième nœud par le deuxième protocole de routage.

- [0010] Il est proposé, en deuxième lieu, une méthode de contrôle d'un routeur intégrant une pluralité de protocoles de routage et une pluralité d'interfaces de communication, cette méthode comprenant les étapes suivantes
- récupération d'une liste de nœuds voisins du routeur;
 - pour au moins un premier nœud voisin de ladite liste, sélection, en fonction d'au moins une première donnée, d'un premier protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles de routage pour un routage vers ce premier nœud voisin;
 - pour chaque interface de communication de ladite pluralité d'interfaces de communication, mesure d'au moins une métrique de routage associée à cette interface de communication pour un routage vers le premier nœud;
 - pour chaque interface de communication, calcul d'une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à cette interface de communication, cette formule utilisant une mesure d'au moins une métrique de routage associée à cette interface de communication;
 - sélection, sur la base des métriques génériques calculées, d'une première interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces de communication pour un routage vers le premier nœud par le premier protocole de routage.
- [0011] Il est proposé, en troisième lieu, un système de routage comprenant
- un routeur intégrant une pluralité de protocoles de routage et une pluralité d'interfaces de communication;
 - le dispositif de contrôle présenté ci-dessus.
- [0012] Diverses caractéristiques supplémentaires peuvent être prévues, seules ou en combinaison :
- le routeur est configuré pour recevoir des premières données selon un premier protocole de routage sur une première interface de communication;
 - envoyer les premières données selon un deuxième protocole de routage sur une deuxième interface de communication, le deuxième protocole de routage étant différent du premier protocole de routage ;
 - la deuxième interface de communication est différente de la première interface de communication.
- [0013] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement et de manière concrète à la lecture de la description ci-après de modes de réalisation, laquelle est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :
- [0014] la figure [Fig.1] illustre schématiquement un routeur pourvu d'un dispositif de

contrôle selon divers modes de réalisation;

- [0015] la figure [Fig.2] illustre schématiquement des étapes d'une méthode de contrôle d'un routeur selon divers modes de réalisation ;
- [0016] la figure [Fig.3] illustre schématiquement un réseau maillé selon divers modes de réalisation.
- [0017] En se référant à la [Fig.1], il est affiché un dispositif **2** de contrôle d'un routeur 1 intégrant une pluralité de protocoles 21-24 de routage et une pluralité d'interfaces 25-27 de communication.
- [0018] Chacun des protocoles **21-24** de routage est apte à router du trafic sur l'une quelconque des interfaces **25-27** de communication disponibles pour acheminer un paquet envoyé par un nœud source à travers un réseau maillé sans fil intégrant le routeur **1** vers un nœud destination connecté à ce réseau.
- [0019] A titre d'exemples non-limitatifs, la pluralité de protocoles **21-24** de routage comprend les protocoles connus sous les noms « BATMAN » (BMX6 ou BMX7), « Babel », « OLSR », « OLSRv2 », « CE-OLSR », « DOLSR », des versions ultérieures de ces derniers ou, plus généralement, tout protocole de routage similaire. Chacun des protocoles **21-24** de routage peut, bien entendu, être statique, proactif, ou réactif.
- [0020] Quant aux interfaces **25-27** de communication, elles peuvent être de différentes technologies. Par exemple, ces interfaces **25-27** de communication peuvent comprendre
- une ou plusieurs interfaces Wifi (la norme IEEE 802.11 dans l'une quelconque de ses différentes versions telles que IEEE 802.11a; IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, 802.11ac, 802.11ax);
 - une ou plusieurs interfaces de communication Bluetooth, ou Bluetooth LE;
 - une ou plusieurs interfaces de communication WIMAX (la norme IEEE 802.16);
 - une ou plusieurs interfaces de communication de type Lora, ou Zigbee (la norme IEEE 802.15.4);
 - une ou plusieurs interface de communication mobile de type 4G, 5G ou équivalents (LTE);
 - une ou plusieurs interfaces de communication satellitaire ;
 - une ou plusieurs interfaces de communication filaire telles que Ethernet, optique, ou CPL (courant porteur en ligne).
- [0021] Dans un mode de réalisation, une interface **25-27** de communication (par exemple, Wifi ou WIMAX) est apte à opérer sur une pluralité de canaux distincts, notamment orthogonaux.
- [0022] Au moins une métrique **30-39** de routage est associée à chacune des interfaces **25-27** de communication. Une métrique **30-39** de routage est une valeur quantifiant la qualité d'un lien ou d'une route via cette interface **25-27** de communication vers un nœud d'un

réseau maillé sans fil auquel le routeur **1** est connecté. Ces métriques **30-39** de routage peuvent se rapporter au nombre de sauts, à la qualité de la liaison, à la charge du réseau, et/ou à l'aspect multicanaux d'une interface **25-27** de communication.

- [0023] A titre d'exemples non-limitatifs, les métriques **30-39** de routage comprennent le débit, le taux de perte de paquets, le taux d'interférence, la capacité, le taux de charge du réseau, le nombre de sauts, le temps d'aller-retour par saut, le retard de paire de paquets de saut, la bande passante, le délai, le rapport signal sur bruit, le rapport signal sur interférence, la qualité d'une connexion, le nombre de retransmissions, le temps de transmission attendu, le nombre de transmissions attendues, le temps de transmissions prévu exclusif, le nombre effectif de transmissions, la performance de liaison attendue, une métrique d'interférence et de commutation de canal, une combinaison de ces dernières, ou toute autre métrique de routage analogue qui peut influencer sur les performances d'un protocole **21-24** de routage.
- [0024] Des métriques **30-39** de routage peuvent être différentes d'une interface **25-27** de communication à une autre, notamment en fonction de son type (radio, Ethernet, optique, ou CPL par exemple).
- [0025] Par ailleurs, chacune des interfaces **25-27** de communication est apte à détecter des nœuds (ou entités) voisins du routeur **1**. Pour cela, une interface **25-27** de communication réalise, par exemple, périodiquement une procédure de découverte de voisinage utilisant des messages de type "hello". De façon générale, le routeur **1** dispose d'une liste (ou un ensemble) de ses nœuds voisins par interface **25-27** de communication. Ces nœuds voisins sont, dans un mode de réalisation, des nœuds voisins immédiats ou directs (c.à.d. se trouvant à un seul saut) du routeur **1**. Dans un réseau maillé sans fil, un nœud voisin du routeur **1** peut être un autre routeur, un nœud client ou un point d'accès vers ce réseau maillé sans fil.
- [0026] Le dispositif **2** de contrôle est configuré pour récupérer une liste **8** de nœuds voisins du routeur **1**. Plus généralement, un ensemble ou une liste **8** de nœuds voisins du routeur **1** est communiquée au dispositif **2** de contrôle. Dans un mode de réalisation, cette liste **8** de nœuds voisins est fournie au dispositif **2** de contrôle
- par les interfaces **25-27** de communication ou, de façon générale, par le routeur **1**;
 - au moins partiellement par des données de configuration du dispositif **2** de contrôle (par exemple, des nœuds voisins permanents du routeur **1**); et/ou
 - au moins partiellement, directement ou indirectement, par une entité du réseau maillé sans fil auquel le routeur **1** est connecté.
- [0027] Le dispositif **2** de contrôle est configuré pour sélectionner un protocole **21-24** de routage et une interface **25-27** de communication par nœud voisin du routeur **1**. En d'autres termes, le dispositif **2** de contrôle choisit, pour chaque nœud voisin du routeur **1**, un protocole **21-24** de routage et une interface **25-27** de communication à utiliser

pour un routage vers ce nœud voisin du routeur **1**.

- [0028] Pour ce faire, le dispositif **2** de contrôle comprend un module **3** de sélection apte à sélectionner, parmi la pluralité de protocoles **21-24** de routage et la pluralité d'interfaces **25-27** de communication, un protocole de routage et une interface de communication par nœud voisin du routeur **1**. A partir d'un ensemble de nœuds voisins, un ensemble de protocoles **21-24** de routage et un ensemble d'interfaces **25-27** de communication, le module **3** de sélection est configuré pour générer des triplets (protocole de communication, interface de communication, nœud voisin) à communiquer au routeur **1**. Le dispositif **2** de contrôle indique au routeur **1** le protocole de routage et l'interface de communication à utiliser pour communiquer avec chacun de ses nœuds voisins.
- [0029] Le dispositif **2** de contrôle permet, en effet, de sélectionner un protocole de routage et de lui assigner ou attribuer une interface de communication pour le routage de données vers un nœud voisin correspondant. Ainsi, pour l'émission ou la réception de données vers/depuis ce nœud voisin, le routeur **1** utilise le protocole de routage sélectionné en combinaison avec l'interface de communication qui lui est attribuée.
- [0030] Pour chaque nœud voisin du routeur **1**, le module **3** de sélection sélectionne, en fonction d'au moins une donnée **4-7** mise à sa disposition, un protocole de routage parmi la pluralité de protocoles **21-24** de routage intégrés au routeur **1** pour un routage vers ce nœud voisin.
- [0031] Des données mises à disposition du module **3** de sélection comprennent, dans un mode de réalisation, des données **4** de localisation (de type position, cap et/ou vitesse) permettant une localisation du routeur **1** par rapport à une zone de référence fixe ou mobile (notamment, un géorepérage du routeur **1**) et/ou d'un nœud voisin par rapport au routeur **1**. De telles données **4** de localisation peuvent être fournies par des modules de localisation globale (de type GPS, GLONASS, GALILEO, ou BeiDou) ou de localisation basée sur des propriétés d'un signal radio reçu telles que la puissance du signal reçu ou la direction/angle d'arrivée du signal radio reçu.
- [0032] Dans un mode de réalisation, des données de localisation d'un nœud voisin sont fournies ou partagées en temps réel ou quasi-temps réel avec le module **3** de sélection et/ou déterminées par un module de localisation équipant le dispositif **2** de contrôle. Dans un autre mode de réalisation, des données de localisation d'un nœud voisin du routeur **1** sont déterminées à partir de mesures fournies par une interface **25-27** de communication radio tel que la puissance du signal reçu (couramment désigné par « RSS » pour Received Signal Strength, ou aussi par « RSSI » pour RSS Indicator) depuis ce nœud voisin.
- [0033] Dans un autre mode de réalisation, des données **4** de localisation sont déterminées à partir de données de topologie relatives à une topologie au moins partielle d'un réseau maillé sans fil auquel le routeur **1** est connecté.

- [0034] Les données **4-7** mises à disposition du module **3** de sélection peuvent, en outre, comprendre des données **5** de configuration du routeur **1** qui lui sont propres ou fournies par un utilisateur et/ou une entité réseau. Ces données **5** de configuration comprennent, par exemple,
- des informations concernant le routeur **1** telle que sa mobilité (mobile/fixe), sa distance et/ou sa vitesse maximales de déplacement, sa capacité de calcul, son autonomie énergétique, sa source d'alimentation électrique (sur secteur, ou batterie par exemple), ou l'état de charge d'une batterie équipant ce routeur **1**;
 - des informations de configuration du routeur **1** telles qu'un itinéraire à suivre par le routeur **1**, une zone de déplacement du routeur **1**, des préférences utilisateur sur les protocoles **21-24** de routage (un ou plusieurs protocoles **21-24** de routage à privilégier/éviter, une interface de communication ou une liste réduite d'interfaces de communication affectée ou imposée par défaut à un protocole de routage), le nombre maximal de protocoles **21-24** de routage à utiliser simultanément par le routeur **1**;
 - des informations concernant le réseau maillé sans fil auquel est connecté le routeur **1** telles qu'une topologie au moins partielle de ce réseau.
- [0035] Le module **3** de sélection est pourvu de données **6** relatives aux protocoles **21-24** de routage telles que leurs performances théoriques, leurs besoins en ressources de calcul et/ou en ressources mémoires, ou leurs catégories (statique, proactif, ou réactif).
- [0036] Des données **7** relatives aux interfaces **25-27** de communication sont également mises à disposition du module **3** de sélection. Ces données **7** comprennent, par exemple, la disponibilité des interfaces **25-27** de communication, ou des propriétés de ces interfaces **25-27** de communication telles que le type (filaire, sans-fil), la norme technique (par exemple, Bluetooth LE, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ax, IEEE 802.11ay, IEEE 802.16m, IEEE 802.15.4, 4G, 5G, 6G), le débit théorique, la portée radio théorique, le nombre et la capacité des canaux de communication, le coût monétaire, le coût énergétique (consommation électrique), ou le niveau de sécurité.
- [0037] En suivant un jeu de règles prédéfinies portant sur une ou plusieurs des données **4-7**, le module **3** de sélection choisit un protocole de routage pour un routage vers chacun des nœuds voisins du routeur **1**. Par exemple, selon une première règle, lorsqu'un premier nœud voisin est à moins d'une distance prédéfinie du routeur **1** fixe, un premier protocole de routage est sélectionné pour router les données vers ce premier nœud voisin. Selon une deuxième règle, les protocoles **21-24** de routage sont, respectivement, associés à des zones spatiales ou géographiques (un géorepérage ou un gardiennage virtuel) prédéfinies de sorte que le protocole de routage à sélectionner est celui associé au préalable à la zone comprenant la position actuelle du routeur **1**.
- [0038] Dans un autre mode de réalisation, le module **3** de sélection comprend un modèle d'apprentissage automatique permettant, au vu des données **4-7** fournies à son entrée,

de sélectionner un protocole de routage par nœud voisin du routeur **1**. Par exemple, un modèle d'apprentissage profond (dit en anglais, « Deep learning ») tel qu'un réseau de neurones pré-entraîné permet, en utilisant les données **4-7**, la sélection d'un protocole de routage par nœud voisin du routeur **1**.

- [0039] Pour la sélection d'une interface **25-27** de communication pour un routage vers un nœud voisin du routeur **1**, un module **10** d'extraction (ou de mesure) permet de mesurer les métriques **30-39** de routage associées aux différentes interfaces **25-27** de communication permettant un routage vers ce nœud voisin. Le module **10** d'extraction collecte les mesures **9** des métriques **30-39** de routage associées aux différentes interfaces **25-27** de communication pouvant être utilisées pour un routage vers ce nœud voisin.
- [0040] Les mesures **9** des métriques **30-39** de routage peuvent être obtenues avec différentes méthodes. Par exemple, le module **10** d'extraction est, dans un mode de réalisation, configuré pour injecter périodiquement des paquets de contrôle dans le réseau via une interface **25-27** de communication et déterminer en retour des mesures **9** de métriques **30-39** de routage telles que le délai, le nombre de saut, le taux de perte, la puissance de réception, ou le nombre de transmissions attendues. Dans un autre mode de réalisation, le module **10** d'extraction est configuré pour utiliser le trafic courant pour obtenir ces mesures **9**. Dans un autre mode de réalisation, le module **10** d'extraction utilise en même temps le trafic réel et des données de contrôle pour récupérer les mesures **9** des métriques **30-39** de routage.
- [0041] Pour chacune des interfaces **25-27** de communication, le module **10** d'extraction mesure l'ensemble des métriques **30-39** qui lui sont associées. Des mesures **9** des métriques **30-39** de routage sont, dans un mode de réalisation, effectuées périodiquement par le module **10** d'extraction de façon à pouvoir détecter tout changement au niveau de la qualité des liens et garder une vue à jour, de préférence quasi-temps réel. Autrement dit, les métriques **30-39** de routage sont observées régulièrement ou, de préférence, de façon continue par le module **10** d'extraction afin d'assurer un suivi des métriques **30-39** de routage associées à chacune des interfaces **25-27** de communication.
- [0042] Afin de pouvoir comparer les qualités des liens vers un nœud voisin via des interfaces **25-27** de communication différentes, un calculateur **11** est configuré pour calculer une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à chaque interface de communication en fonction des mesures **9** des métriques **30-39** de routage associées à cette interface de communication. Pour chaque interface de communication, le calculateur **11** calcule une métrique générique selon une formule associée à cette interface de communication et utilisant les mesures **9** des métriques **30-39** de routage associées à cette interface de communication.
- [0043] Le calculateur **11** calcule, en effet, à partir des mesures **9**, des métriques **30-39** gé-

nétriques associées aux interfaces **25-27** de communication qu'on peut comparer indépendamment de l'hétérogénéité des métriques **30-39** de routage qui leurs sont associées. Il en résulte, avantageusement, que le calculateur **11** masque la diversité des interfaces **25-27** de communication (Wifi, LTE, satellite, Ethernet par exemple) et l'hétérogénéité des métriques **30-39** de routage qui leurs sont associées par des métriques génériques comparables exprimées dans un même espace (ou dans une même base).

- [0044] Le calculateur **11** fournit des représentations dynamiques comparables (ou homogènes) de la qualité des liens via les différentes interfaces **25-27** de communication. Dans un mode de réalisation, le calculateur **11** réalise une projection des mesures **9** sur une même base d'évaluation commune à toutes les technologies des interfaces **25-27** de communication. Il est ainsi possible de comparer la qualité de liens via des interfaces **25-27** de communication hétérogènes (par exemple, Wifi, LTE, WiMax et Ethernet).
- [0045] Avantageusement, la métrique générique d'une interface **25-27** de communication intègre toutes contraintes ou métriques **30-39** de routage qui entrent en jeu dans le routage sur cette interface **25-27** de communication, indépendamment du protocole de routage sélectionné par le module **3** de sélection. La prise en considération de l'ensemble des métriques **30-39** de routage susceptibles d'influer sur la qualité d'un lien via une interface **25-27** de communication permet, avantageusement, de modéliser et de quantifier de manière complète et précise la qualité de ce lien.
- [0046] Une formule pour le calcul d'une métrique générique associée à une interface **25-27** de communication est, dans un mode de réalisation, une combinaison (par exemple, addition, soustraction, multiplication ou moyenne), notamment linéaire, des mesures **9** des métriques **30-39** de routage qui lui sont associées. Cette formule peut être définie par des coefficients de pondération des mesures **9** mises à l'échelle entre une valeur minimale (par exemple, zéro) et une valeur maximale (par, exemple, un, dix ou cent) prédéfinies. La somme des coefficients de pondération d'une formule associée à une interface de communication pour le calcul d'une métrique générique est égale à l'unité.
- [0047] Des exemples illustratifs des formules de calcul d'une métrique générique peuvent être comme suit:
- pour une interface de communication de type Wifi: $MG_Wifi = \text{somme} (a_i * m_i / m_{i_max}) * M$ où MG_Wifi , a_i , m_i , m_{i_max} , et M désignent, respectivement, la métrique générique d'une interface de communication Wifi, un coefficient de pondération, une métrique de routage mesurée associée à l'interface de communication Wifi (tel que le débit, le rapport signal sur bruit, le temps de transmission attendu), la valeur théorique maximale de m_i , et une constante représentant la valeur maximale que peut prendre chacune des métriques génériques (i étant un entier non nul);

- pour une interface de communication LTE: $MG_LTE = \text{somme}(b_j * m_j/m_{j_max}) * M$
 où MG_LTE , a_j , m_j , et m_{j_max} désignent, respectivement, la métrique générique d'une interface de communication LTE, un coefficient de pondération, une métrique de routage mesurée associée à l'interface de communication LTE (tel que la bande passante, le rapport signal sur interférence, le temps de transmission attendu, la latence ou le temps d'aller-retour par saut), et la valeur théorique maximale de m_j (j étant un entier non nul);

- pour une interface de communication Ethernet: $MG_Ethernet = M - NTEPS$ où $NTEPS$ désigne le nombre de trames erronées par seconde mesuré ($MG_Ethernet = 0$ si $NTEPS$ est supérieure à M).

[0048] Les formules de calcul des métriques génériques associées aux différentes interfaces **25-27** de communication permettent de calculer des métriques génériques comprises dans un intervalle prédéfini (par exemple entre zéro et cent) associé à l'ensemble des interfaces **25-27** de communication. Une valeur nulle de la métrique générique signifie que le lien est interrompu. Plus la métrique générique est importante, plus le lien/route est estimée de bonne qualité. Un premier lien est estimé meilleur qu'un deuxième lien si la métrique générique de ce premier lien est supérieure à la métrique générique du deuxième lien. La sélection d'une interface de communication peut, ainsi, se faire sur la base de métriques génériques homogènes.

[0049] Des préférences utilisateur **12** sur les interfaces **25-27** de communication peuvent être prises en considération par le calculateur **11**. Ces préférences utilisateur **12** permettent de privilégier l'utilisation d'une interface de communication par rapport à une autre. Par exemple, l'utilisateur peut apporter des coefficients de pondération d'amélioration ou de détérioration de la métrique générique d'une interface de communication par rapport à celle d'une autre. A titre d'illustration, des préférences utilisateur **12** permettent d'atténuer la métrique générique d'une interface de communication par satellite (étant considérée comme étant coûteuse et consommatrice d'énergie) de sorte qu'elle ne peut être sélectionnée que lorsque les métriques génériques des autres interfaces de communication sont inférieures.

[0050] Une interface de communication parmi la pluralité d'interfaces **25-27** de communication peut ainsi être sélectionnée par le dispositif **2** de contrôle sur la base des métriques génériques calculées pour un routage vers un nœud voisin pour lequel un protocole de routage est sélectionné par le module **3** de sélection. Les métriques génériques calculées sont utilisées pour déterminer la meilleure interface de communication à attribuer à un protocole de routage sélectionné par le module **3** de sélection. L'interface de communication sélectionnée est, dans un mode de réalisation, celle ayant la métrique générique maximale.

[0051] Dans un mode de réalisation, un module **13** d'adaptation est configuré pour adapter

(transformer, coder ou mettre à l'échelle) la métrique générique d'une interface de communication en une grandeur adaptée au protocole de routage sélectionné. Ce module **13** d'adaptation convertit la métrique générique de l'interface de communication sélectionnée en une grandeur convenable au protocole de routage sélectionné.

- [0052] Une interface de communication ainsi sélectionnée est attribuée au protocole de routage sélectionné qui se charge de router le flux de données sur cette interface de communication pour un routage vers le nœud voisin correspondant. Il en résulte une sélection du protocole de routage et de l'interface de communication les plus appropriés pour chaque nœud voisin du routeur **1**. Ces deux sélections sont, avantageusement, dynamiques dans le sens où elles suivent l'évolution du réseau maillé sans fil auquel est connecté le routeur **1**. La sélection dynamique du protocole de routage et de l'interface de communication appropriés à chaque nœud voisin permet de créer des routes robustes et donc une topologie stable et de ré-stabiliser les routes suite à tout changement de la topologie.
- [0053] La sélection de façon indépendante d'un protocole de routage et d'une interface de communication pour chaque nœud voisin du routeur **1** permet de capter finement les besoins du routage au sein du réseau maillé sans fil de façon à améliorer ses performances. Le dispositif **2** de contrôle est apte à sélectionner pour un premier et un deuxième nœud voisin du routeur **1**, respectivement, un premier couple et un deuxième couple différents de protocole de routage et interface de communication. Le routage vers le deuxième nœud voisin peut être différent par le protocole de routage et/ou par l'interface de communications utilisés.
- [0054] Dans un mode de réalisation, le dispositif **2** de contrôle est une application (ou une couche) logicielle susceptible d'être mise en œuvre au sein d'une unité de traitement informatique (tel qu'un processeur) intégrée ou annexée au routeur **1**. Cette unité de traitement informatique peut être connectée au routeur **1** (notamment, aux interfaces **25-27** de communication) via des ports de types UART, SPI, I2C, USB, Ethernet, PCI, PCI-X, PCI-E, ou via une liaison locale sans fil de type Bluetooth. Dans un mode de réalisation, le dispositif **2** de contrôle est compris dans une unité de traitement informatique distante, tel qu'un serveur connecté au réseau maillé sans fil ou hébergé dans un serveur en nuage (ou « Cloud » en anglais). Dans ce cas, le dispositif **2** de contrôle supervise de façon centralisée (à l'image d'un orchestrateur) une pluralité de routeurs **1** du réseau maillé sans fil.
- [0055] Tel qu'il est illustré par la [Fig.2], le dispositif **2** de contrôle met en œuvre une méthode de contrôle d'un routeur **1** pourvu d'une pluralité de protocoles 21-24 de routage et d'une pluralité d'interfaces 25-27 de communication. Cette méthode comprend une étape de récupération 40 d'une liste de nœuds voisins du routeur **1**. Pour au moins un premier nœud voisin du routeur **1**, une première étape de sélection 41 en

fonction d'au moins une donnée 4-7 permet de sélectionner un premier protocole de routage pour un routage vers ce premier nœud voisin. Ensuite, pour chaque interface de communication, au moins une métrique 30-39 de routage associée à cette interface de communication pour un routage vers le premier nœud est mesurée (étape de mesure 42). Pour chaque interface de communication, une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à cette interface de communication et utilisant une mesure 9 d'au moins une métrique 30-39 de routage associée à cette interface de communication est calculée (étape de calcul 43). Lors d'une deuxième étape de sélection 44, une première interface de communication est sélectionnée sur la base des métriques génériques calculées pour un routage vers le premier nœud par le premier protocole de routage.

- [0056] En se reportant à la [Fig.3], il est affiché un réseau **50** maillé sans fil intégrant une pluralité de systèmes a-k de routage maillés. Chacun des systèmes a-k de routage comprend un routeur 1a-1k pourvu d'un dispositif 2a-2k de contrôle tel que décrit ci-dessus. Chacun des routeurs 1a-1k est doté d'une pluralité d'interfaces 25-27 de communication lui permettant de communiquer avec différentes technologies sans fil avec d'autres routeurs 1a-1k du réseau 50 maillé sans fil. Bien entendu, les interfaces 25-27 de communication peuvent comprendre une interface de communication filaire (par exemple, Ethernet, optique ou CPL).
- [0057] Chacun des systèmes **a-k** de routage peut être fixe ou mobile de sorte que la topologie du réseau **50** maillé peut être dynamique. Un système **a-k** de routage peut, en effet, être embarqué dans un véhicule automobile, un véhicule nautique, ou un véhicule aérien, notamment sans équipage à bord (couramment appelé « drone »). Plus généralement, les systèmes **a-k** de routage sont libres de se déplacer de sorte que le réseau **50** maillé sans fil peut continuellement subir des changements de topologie auxquels le contrôle des routeurs **1a-1k** doit être adapté en conséquence par les dispositifs **2a-2k** de contrôle correspondants.
- [0058] L'utilisation de plus d'un protocole de routage par un routeur **1a-1k** pour communiquer avec ses nœuds voisins répartit le réseau **50** maillé sans fil en une pluralité de sous-réseaux **51-53** (ou clusters). Dans l'exemple de la [Fig.3], chacun des routeurs **1a-1c** utilise deux protocoles de routage pour communiquer avec ses routeurs voisins respectifs. Il en résulte la formation des sous-réseaux 51-53 où des protocoles de routage différents (par exemple, "Babel", "BATMAN-adv" et "BMX7") sont utilisés (illustrés par des liens en pointillé, en trait interrompu, et en trait continu). Lorsqu'un routeur 1a-1c utilise au moins deux protocoles de routage pour communiquer avec ses nœuds voisins, il joue, en effet, le rôle d'un routeur passerelle (ou d'un routeur pont) entre deux sous-réseaux 51-53 utilisant deux protocoles de routage différents. Ce routeur 1a-1c passerelle fournit une fonctionnalité de pont ou de passerelle pour un

routage entre une première pluralité de routeurs maillés voisins utilisant un premier protocole de routage et une deuxième pluralité de routeurs maillés voisins utilisant un deuxième protocole de routage (un protocole de routage par sous-réseau). Un routeur non-passerelle utilise un seul protocole de routage, alors qu'un routeur passerelle en utilise au moins deux.

- [0059] Un routeur **1a-1c** passerelle interconnecte deux sous-réseaux **51-53** implémentant deux protocoles de routage différents. Un routeur **1a-1c** passerelle est configuré pour simultanément router (recevoir et envoyer) des données
- selon un premier protocole de routage sur une première interface de communication vers un premier routeur voisin compris dans un premier sous-réseau; et
 - selon un deuxième protocole de routage - différent du premier protocole de routage - sur une deuxième interface de communication vers un deuxième routeur voisin compris dans un deuxième sous-réseau. La deuxième interface de communication peut également être différente de la première interface de communication.
- [0060] Lorsqu'un routeur **1a-1k** découvre un premier routeur voisin (du fait de sa mobilité et/ou celle du premier routeur voisin), son dispositif **2a-2k** de contrôle détermine un protocole de routage et une interface de communication à utiliser pour communiquer avec ce premier routeur voisin. Lorsque le protocole de routage sélectionné est déjà en utilisation par ce routeur **1a-1k** pour communiquer avec un deuxième routeur voisin, alors le premier routeur **1** voisin rejoint le sous-réseau comprenant le deuxième routeur voisin. En revanche, lorsque le protocole de routage sélectionné est différent, ce routeur **1a-1k** joue le rôle de routeur **1** passerelle entre un premier sous-réseau comprenant le premier routeur voisin et un deuxième sous-réseau comprenant le deuxième routeur voisin. Il en résulte, avantageusement, une auto-organisation des connexions entre les routeurs en fonction de la topologie du réseau et de la qualité des liens/route, l'extension/réduction ou l'apparition/disparition d'un sous-réseau étant automatique.
- [0061] Lorsqu'un premier routeur compris dans un premier sous-réseau est en mouvement, il peut devenir voisin d'un deuxième routeur compris dans un deuxième sous-réseau. Le premier routeur peut ainsi se joindre au deuxième sous-réseau ou faire apparaître un troisième sous-réseau en se connectant au deuxième routeur avec un troisième protocole de routage différent de ceux utilisés dans le premier et le deuxième sous-réseau. Les routeurs **1a-1k** du réseau **50** maillé sans fil sont aptes à modifier automatiquement, tout en maintenant la connectivité réseau, le protocole de routage et/ou l'interface de communication utilisés pour un routage de l'un vers l'autre.
- [0062] Dans un mode de réalisation, le couple (protocole de routage, interface de communication) sélectionné par le dispositif **2a-2k** de contrôle d'un routeur **1a-1k** déjà connecté au réseau **50** maillé sans fil est imposé à un routeur voisin non encore

connecté au réseau **50** maillé sans fil. De façon générale, lorsque le couple (protocole de routage, interface de communication) sélectionné par le dispositif de contrôle d'un premier routeur est différent du couple sélectionné par le dispositif de contrôle d'un deuxième routeur voisin du premier routeur, une élection d'un couple commun (protocole de routage, interface de communication) parmi ceux proposés est faite pour communiquer ensemble. Dans un mode de réalisation, la liste **8** de routeurs voisins comprend, le cas échéant, le protocole de routage associé à l'interface via laquelle ce routeur voisin est découvert. Une telle information est prise en considération lors de l'élection dudit couple commun.

- [0063] Avantagement, les modes de réalisation décrits ci-dessus
- offrent une grande flexibilité d'emploi des routeurs maillés et convient avantagement à tout type d'environnement, notamment mobile;
 - permettent, en favorisant l'utilisation simultanée de plusieurs interfaces **25-27** de communication au niveau d'un routeur passerelle, d'augmenter de manière considérable les capacités des réseaux maillés sans fil;
 - facilitent, en découpant un réseau maillé en une pluralité de sous-réseaux utilisant des protocoles **21-24** de routage différents adaptés aux besoins de ces sous-réseaux (par exemple, maximiser le débit, minimiser le taux de perte, minimiser la latence, minimiser les interférences, un meilleur coût aux chemins avec moins de délai) et en désignant des routeurs faisant office de passerelle entre ces sous-réseaux, le déploiement des réseaux maillés sans fil de grande taille ;
 - permettent de tirer partie de l'hétérogénéité des protocoles **21-24** de routage et des interfaces **25-27** de communication des routeurs pour améliorer les performances des réseaux maillés sans fil;
 - permettent une auto-organisation dynamique du trafic en réponse aux changements de la topologie due à la mobilité des entités du réseau maillé sans fil et/ou des préférences utilisateur;
 - permettent d'organiser un réseau maillé sans fil pour prendre en considération des contraintes propres à chacun des routeurs maillés (ressources de calcul, ou autonomie énergétique), et/ou aux applications supportées par le réseau maillé sans fil (application temps réel, ou application requérant un niveau de sécurité prédéfinie).

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif (2) de contrôle d'un routeur (1) intégrant une pluralité de protocoles (21-24) de routage et une pluralité d'interfaces (25-27) de communication, ce dispositif (2) de contrôle étant configuré pour
- récupérer une liste de nœuds voisins du routeur (1);
 - pour au moins un premier nœud voisin de ladite liste, sélectionner, en fonction d'au moins une première donnée (4-7), un premier protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles (21-24) de routage pour un routage vers ce premier nœud voisin;
 - pour chaque interface de communication de ladite pluralité d'interfaces (25-27) de communication, mesurer au moins une métrique (30-39) de routage associée à cette interface de communication pour un routage vers le premier nœud;
 - pour chaque interface de communication, calculer une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à cette interface de communication, cette formule utilisant une mesure d'au moins une métrique (30-39) de routage associée à cette interface de communication;
 - sélectionner, sur la base des métriques génériques calculées, une première interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces (25-27) de communication pour un routage vers le premier nœud par le premier protocole de routage.
- [Revendication 2] Dispositif (2) de contrôle selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** ladite première donnée comprend une donnée de localisation du routeur (1) par rapport à une zone de référence et/ou du premier nœud voisin par rapport au routeur (1).
- [Revendication 3] Dispositif (2) de contrôle selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** ladite première donnée comprend une donnée de configuration du routeur (1).
- [Revendication 4] Dispositif (2) de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la formule prédéfinie est une combinaison d'une pluralité de métriques (30-39) de routage associées à ladite cette interface de communication de sorte que la métrique générique calculée soit comprise dans un intervalle prédéfini associé à la pluralité d'interfaces (25-27) de communication.
- [Revendication 5] Dispositif (2) de contrôle selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il est, en outre, configuré pour

- sélectionner, pour un deuxième nœud voisin de ladite liste, en fonction d'au moins une deuxième donnée, un deuxième protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles (21-24) de routage pour un routage vers ce deuxième nœud voisin, le deuxième protocole de routage étant différent du premier protocole de routage;
- sélectionner, sur la base des métriques génériques calculées, une deuxième interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces (25-27) de communication pour un routage vers le deuxième nœud par le deuxième protocole de routage.

[Revendication 6]

Méthode de contrôle d'un routeur (1) intégrant une pluralité de protocoles (21-24) de routage et une pluralité d'interfaces (25-27) de communication, cette méthode comprenant les étapes suivantes

- récupération d'une liste de nœuds voisins du routeur (1);
- pour au moins un premier nœud voisin de ladite liste, sélection, en fonction d'au moins une première donnée, d'un premier protocole de routage parmi ladite pluralité de protocoles (21-24) de routage pour un routage vers ce premier nœud voisin;
- pour chaque interface de communication de ladite pluralité d'interfaces (25-27) de communication, mesure d'au moins une métrique (30-39) de routage associée à cette interface de communication pour un routage vers le premier nœud;
- pour chaque interface de communication, calcul d'une métrique générique selon une formule prédéfinie associée à cette interface de communication, cette formule utilisant une mesure d'au moins une métrique (30-39) de routage associée à cette interface de communication;
- sélection, sur la base des métriques génériques calculées, d'une première interface de communication parmi ladite pluralité d'interfaces (25-27) de communication pour un routage vers le premier nœud par le premier protocole de routage.

[Revendication 7]

Méthode selon la revendication précédente, **caractérisée en ce que** ladite première donnée comprend une donnée de localisation du routeur (1) par rapport à une zone de référence et/ou du premier nœud voisin par rapport au routeur (1).

[Revendication 8]

Système (a) de routage comprenant

- un routeur (1a) intégrant une pluralité de protocoles (21-24) de routage et une pluralité d'interfaces (25-27) de communication;
- le dispositif (2a) de contrôle de l'une quelconque des revendications 1

à 5.

[Revendication 9]

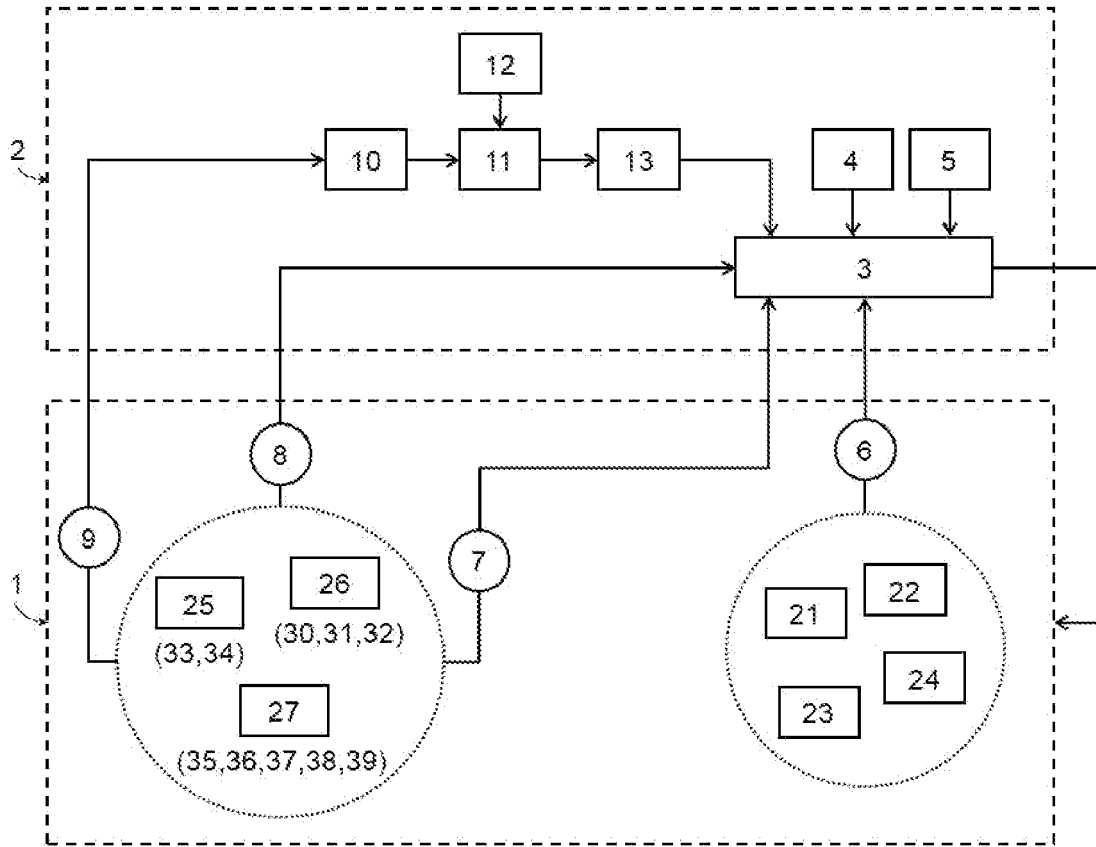
Systeme (**a**) de routage selon la revendication précédente, **caractérisé en ce que** le routeur (**1a**) est configuré pour

- recevoir des premières données selon un premier protocole de routage sur une première interface de communication;
- envoyer les premières données selon un deuxième protocole de routage sur une deuxième interface de communication, le deuxième protocole de routage étant différent du premier protocole de routage.

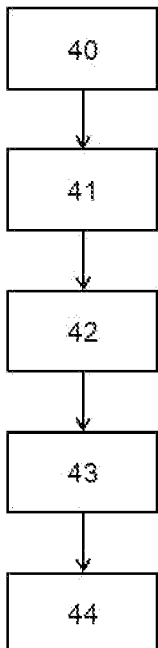
[Revendication 10]

Systeme (**a**) de routage selon la revendication 8 ou 9, **caractérisé en ce que** la deuxième interface de communication est différente de la première interface de communication.

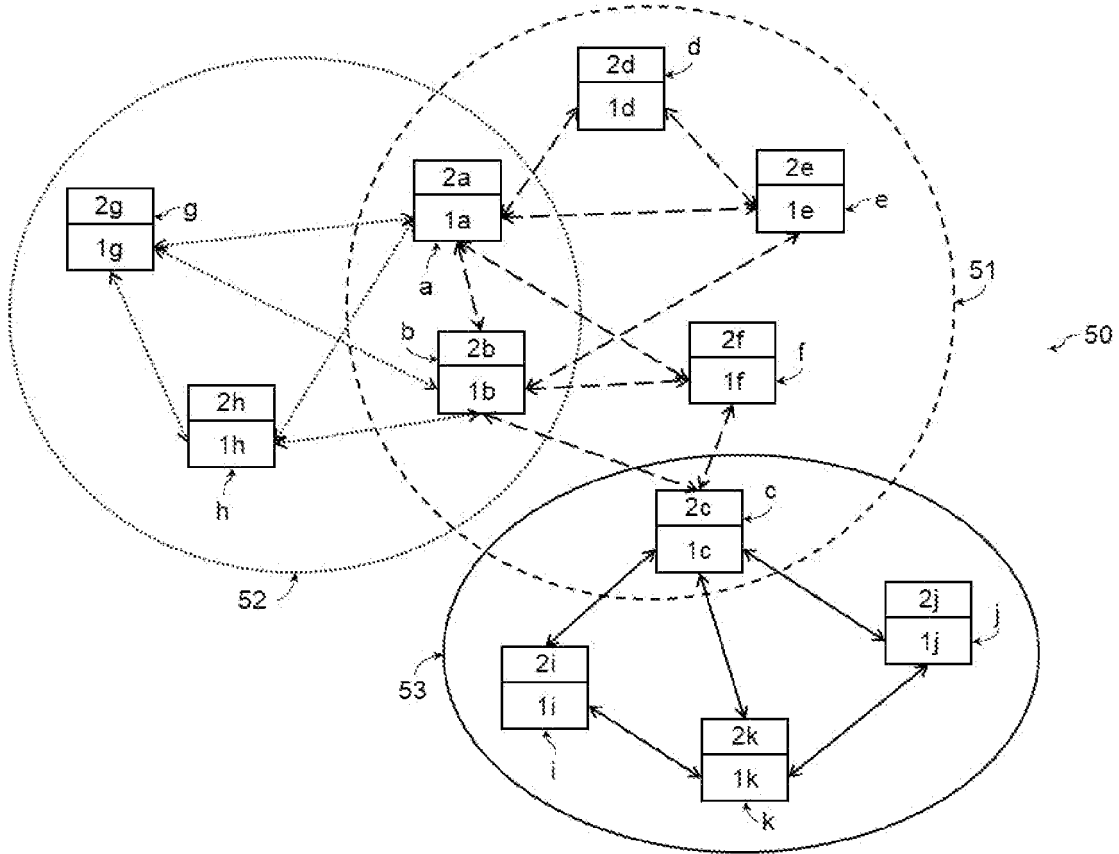
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2009/047440 A2 (FRANCE TELECOM [FR];
TOHAM CARINE [FR]; JAN FRANCOIS [FR])
16 avril 2009 (2009-04-16)

FR 2 914 523 A1 (THALES SA [FR])
3 octobre 2008 (2008-10-03)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

FR 2 895 626 A1 (LUCEOR SOC PAR ACTIONS
SIMPLIF [FR]) 29 juin 2007 (2007-06-29)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT