

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Dispositif et procédé de routage de flux dans les réseaux sensibles au temps.

②② Date de dépôt : 20.05.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement Public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.11.23 Bulletin 23/47.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 06.06.25 Bulletin 25/23.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : BEN HADJ SAID Siwar et BOC
Michael.

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement Public.

⑦④ Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.



Description

Titre de l'invention : Dispositif et procédé de routage de flux dans les réseaux sensibles au temps

Domaine de l'invention

[0001] La présente invention est dans le domaine des réseaux de télécommunication, et concerne plus particulièrement un procédé de routage de flux multi-QoS dans les réseaux déterministes ou réseaux sensibles au temps (TSN) « Time Sensitive Networking ».

Etat de la Technique

[0002] TSN est un ensemble de normes, définies par le groupe de travail IEEE 802.1, qui étendent le réseau Ethernet afin de répondre aux exigences strictes des communications en temps réel.

[0003] Ce type de réseaux est destiné à être utilisé principalement dans des réseaux industriels, les réseaux intra-véhiculaires, les réseaux de cœur 5G/6G. En étendant et en adaptant les standards Ethernet existants, le TSN crée une convergence entre la technologie de l'information (IT) et la technologie de l'exploitation industrielle (OT) dans les réseaux industriels. Cela signifie que les données critiques en temps réel et les applications à forte intensité de données peuvent être mises en œuvre sur un câble Ethernet commun sans interférer les uns avec les autres.

[0004] Les spécifications TSN fournissent des services déterministes, permettant la transmission en temps réel de données dans un cadre prévisible, à l'intérieur d'un espace de temps connu, dans les environnements industriels, telles que les applications de contrôle des machines dans les processus de production, du capteur au nuage (le « cloud » selon l'anglicisme consacré). TSN offre une latence (le temps nécessaire à un paquet de données pour passer de la source à la destination à travers un réseau) et une qualité de service garanties avec la synchronisation temporelle.

[0005] Les différents documents de la norme TSN offrent une solution de communication en temps réel complète lorsqu'ils sont utilisés ensemble de manière concertée. Chaque spécification standard est autonome et elle peut être utilisée seule. On peut regrouper les spécifications en trois catégories :

- La synchronisation temporelle correspondant à la norme IEEE 802.1AS, où tous les périphériques qui participent à la communication en temps réel doivent avoir une compréhension commune du temps.
- La planification ou ordonnancement correspondant à la norme IEEE 802.1Qbv pour la mise en forme du trafic TSN, où tous les périphériques participant à la communication en temps réel respectent les mêmes règles dans le

traitement et la transmission des paquets de communication.

- Le routage ou sélection des chemins de communication, des réservations de chemins et de la tolérance de panne, où tous les périphériques participant à la communication en temps réel respectent les mêmes règles dans la sélection des chemins de communication et dans la réservation de la bande passante et des horaires, en utilisant éventuellement plusieurs chemins simultanés pour obtenir une tolérance de panne.

- [0006] Le mécanisme de contrôle d'un trafic TSN peut alors être considéré sous deux aspects : (1) l'ordonnancement ou planification Qbv (« scheduling » selon l'anglicisme adapté), qui permet de définir quelle trame d'un flux à envoyer et quand l'envoyer ; et (2) le routage correspondant à la sélection pour chaque flux, d'un chemin de la source à la destination.
- [0007] Pour la mise en place de l'ordonnancement, certaines formules ou restrictions répondant aux exigences de temps sont introduites. Elles sont généralement résolues comme des problèmes d'optimisation en appliquant la programmation linéaire en nombres entiers ou « Integer Linear Programming » (ILP) selon l'anglicisme adapté ou comme des problèmes de décision en appliquant la théorie modulaire satisfiable ou « Satisfiability modulo theories » (SMT) selon l'anglicisme adapté. Ainsi, la recherche d'un procédé d'ordonnancement revient à résoudre un problème de complexité « NP-difficile ».
- [0008] De ce fait, il devient trop complexe pour respecter la limite de temps de calcul des réseaux à grande échelle, de chercher à résoudre conjointement les deux aspects que sont l'ordonnancement et le routage.
- [0009] Une solution typique consiste à résoudre d'abord le problème de routage, et ensuite le problème de planification.
- [0010] Dans une approche courante, le routage est calculé selon le chemin le plus court en termes de nombre de sauts. Puis, une fois que les routes sont déterminées, la planification Qbv est calculée sur la base de ces routes.
- [0011] Cette approche n'est pas optimale dans le sens où le calcul des routes ne prend pas en considération les contraintes des flux en termes de latence, ni le fait qu'une planification Qbv soit en court sur les commutateurs constituant le réseau TSN.
- [0012] La planification Qbv propose un mécanisme pour assurer des latences bornées. Il permet aux commutateurs d'un réseau TSN de contrôler le trafic dans des files d'attente de ports de sortie des commutateurs, selon une planification de transmission prédéfinie (l'ordonnanceur temporel IEEE 802.1Qbv), et ainsi de garantir la qualité du trafic prioritaire. L'ordonnanceur temporel IEEE 802.1Qbv est conçu pour séparer la communication sur le réseau Ethernet en cycles de temps répétés de longueur fixe. Au sein de ces cycles, différentes tranches de temps peuvent être configurées et être

affectées à une ou plusieurs des huit priorités Ethernet.

- [0013] Les commutateurs (« Switch » en anglais) servent d'intermédiaires entre des terminaux émetteurs (Parleur(s) ou « Talker(s) » en anglais) de flux de données et des terminaux récepteurs (Auditeur(s) ou « Listener(s) » en anglais), en gérant le multiplexage des données, i.e. leur réception, leur traitement et leur retransmission.
- [0014] La [Fig.1] illustre de manière schématique et simplifiée un réseau TSN composé d'une pluralité d'équipements sources (T1, T2, T3) et d'un équipement destinataire (L1) connectés à des commutateurs (S1, S2, S3, S4, S5) via des liens Ethernet.
- [0015] Sur cet exemple, il est considéré que trois flux TSN (ST3, ST4, ST5) allant vers la même destination (L1) ont des contraintes de latence par exemple une latence maximale de 200 μ s pour le flux ST3 (latenceMax3= 200 μ s), une latence maximale de 10ms pour le flux ST4 (latenceMax4= 10ms) et une latence maximale de 500 μ s pour le flux ST5 (latenceMax5= 500 μ s).
- [0016] Selon l'approche courante précitée, ces trois flux vont prendre la même route (i.e. le chemin le plus court, par exemple via les commutateurs S2 et S3), puis l'ordonnanceur décidera un nouveau cycle intégrant trois plages de temps (créneaux de temps ou « time slots » en anglais) pour ces trois flux. Cependant, quand le cycle (calculé sur le port de sortie du commutateur S3 connecté au terminal destinataire L1) ne pourrait pas inclure tous les flux, car devenant complet, comme illustré sur la [Fig.1] où le cycle répartit des plages de temps restantes pour les flux ST1 à ST4 et ne peut plus prendre en compte le flux ST5, l'ordonnanceur (i.e. le module de planification) pourrait décider (i.e. produire le résultat ou l'information) de la non-faisabilité de la configuration du système.
- [0017] Ainsi sur cet exemple simplifié, il ressort que par l'approche courante, le fait de considérer uniquement le nombre des sauts (le chemin le plus court) dans le calcul des routes, peut conclure à la sélection d'une même route pour tous les flux, et de ce fait peut entraîner une complexité dans le calcul de la planification Qbv, voire une impossibilité de planifier la transmission de certains flux.
- [0018] De plus, cette approche courante n'est pas adaptée pour les nouveaux scénarios envisagés tel que des lignes de productions reconfigurables dans l'industrie 4.0, ayant un cœur 5G basé sur un réseau TSN. En effet, dans ces types de scénarios, le système est dit ouvert car les flux ne sont pas tous connus à l'avance avant le déploiement du réseau, et le mécanisme de planification Qbv est alors sujet à des reconfigurations pour pouvoir satisfaire les exigences applicatives des flux critiques. Dans ces systèmes, de manière à garantir la précision d'un processus de fabrication et minimiser tout défaut, les appareils tels que les robots, les actionneurs et les capteurs doivent communiquer entre eux rapidement car ils doivent réagir très vite en fonction du système de commande et de contrôle, ou en fonction de certains événements inattendus.

- [0019] Aussi, pour pouvoir répondre à des scénarios envisagés dans l'industrie 4.0 où les lignes de production sont reconfigurables (ce qui implique une dynamique dans le réseau industriel), ou pour répondre au scénario d'intégrer la technologie TSN dans le cœur 5G/6G où les flux ne sont pas connus d'avance, il existe le besoin d'algorithmes qui répondent aux exigences strictes des communications en temps réel.
- [0020] Il existe quelques approches qui abordent en partie ces problématiques.
- [0021] Le standard IEEE 802.1Qcc fournit deux approches principales (celle centralisée et celle distribuée) pour configurer les mécanismes TSN (IEEE, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Bridges and Bridged Networks Amendment 31: Stream Reservation Protocol (SRP) Enhancements and Performance Improvements", IEEE 802.1Qcc-2018. Dans ce standard, il est souligné que l'approche centralisée est la plus favorisée pour assurer la configuration de l'IEEE 802.1Qbv. Cependant, ce standard ne fournit pas les algorithmes qui permettent de décider les routes et générer la configuration des listes de configuration de portes (GCL) (« Gate Configuration List » selon l'anglicisme consacré) à déployer dans le réseau.
- [0022] Dans la littérature, l'approche principale repose généralement sur des outils d'ingénierie : outils de simulation comme « RTaW-Pegase » ou bien des outils d'optimisation mathématiques comme les formulations ILP (« Integer Linear Programming ») ou les solveurs SMT (« Satisfiability modulo Theories »).
- [0023] Or, ces outils d'ingénierie ne permettent pas d'assurer l'aspect de la dynamique attendue par l'ensemble des nouveaux scénarios envisagés dans le futur comme celui des systèmes ouverts dans lesquels l'arrivée des flux n'est pas connue à l'avance.
- [0024] Par exemple, l'article de Nayak, N. G., Duerr, F., & Rothermel, K. (2018), Routing algorithms for IEEE802. 1Qbv networks, ACM SIGBED Review, 15(3), 13-18, propose un algorithme de routage basé sur la technique ILP qui vise à réduire le nombre des flux à ordonnancer dans chaque commutateur. Cependant, l'inconvénient principal de ce type de technique est le temps d'exécution qui ne convient pas pour gérer et configurer un réseau TSN d'une manière dynamique.
- [0025] Les articles de Singh, S. (2017), Routing algorithms for time sensitive networks (Master's thesis), et de Ojewale, M. A., & Yomsi, P. M. (2020), Routing heuristics for load-balanced transmission in TSN-based networks, ACM Sigbed Review, 16(4), 20-25, ont proposé des heuristiques pour le routage qui considèrent comme métrique de calcul des routes, la quantité de trafic à ordonnancer maximale (« Maximum scheduled traffic load MSTL »). Ensuite pour l'ordonnancement des flux, Singh, S. se repose sur la théorie modulaire satisfiable (SMT solver). L'algorithme de routage a pour objectif de minimiser cette métrique pour trouver le chemin pour chacun des flux.
- [0026] L'inconvénient des algorithmes de routage proposés dans la littérature est qu'ils décident des routes seulement sur la base de la quantité du trafic à ordonnancer, sans

tenir en compte des contraintes de latence associées à ces flux. Ainsi, avec ce type d'algorithme de routage, les flux ayant des contraintes strictes en termes de latence pourraient malgré tout emprunter des chemins plus longs et de fait leurs contraintes de latence ne seraient pas respectées.

[0027] Une autre approche connue est décrite dans l'article de Huang, K., Wu, J., Jiang, X., Xiong, D., Huang, K., Yao, H., ... & Liu, Z. (2020), A period-aware routing method for IEEE 802.1 Qbv TSN networks, Electronics, 10(1), 5, qui propose un algorithme de routage qui prend en considération la période des flux. Dans un premier temps, l'algorithme permet d'organiser les flux suivant une métrique de combinabilité des flux (« flux combinability » selon l'anglicisme consacré), qui traduit la capacité des flux à se mettre ensemble sur le même ordonnancement. Dans un second temps, l'algorithme de routage se base sur une métrique de coût calculée selon l'équation suivante :

[0028] $\text{Coût} = \text{MSOW} + K \cdot \text{hops}$, où le paramètre 'MSOW' est une métrique inventée par les auteurs pour mesurer la combinabilité des flux, le paramètre 'hops' représente la longueur du chemin, et le paramètre 'K' est un poids défini par l'utilisateur pour pénaliser la longueur du chemin vis-à-vis du paramètre 'MSOW'. L'inconvénient de cette solution réside dans le choix du paramètre 'K' qui selon sa valeur peut impacter les performances de l'algorithme. Par ailleurs, cet algorithme ne prend pas en considération les contraintes des flux en termes de latence.

[0029] Aussi, il n'existe pas de solution connue d'algorithme de routage pour les réseaux sensibles au temps, qui tiennent compte des contraintes de latence des flux tout en respectant les exigences applicatives de ces flux, telle que l'exigence d'arrivée juste à temps (« Just-in-Time » selon l'anglicisme consacré).

[0030] La présente invention répond à ces différents besoins.

Résumé de l'invention

[0031] Un objet de la présente invention est un procédé et un dispositif pour sa mise en œuvre, permettant de calculer le routage de flux dans les réseaux déterministes.

[0032] Avantageusement le procédé de l'invention, en plus de considérer la planification Qbv qui est déjà configurée dans les commutateurs faisant partie des chemins, considère les latences des flux de données comme des métriques pour la détermination des chemins de routage.

[0033] A la différence des méthodes de routage connues, la solution proposée introduit un intervalle de tolérance qui va donner plus de flexibilité à l'ordonnanceur pour déterminer des créneaux de temps à allouer aux flux, quand une planification Qbv est déjà configurée sur les commutateurs.

[0034] La présente invention peut être mise en œuvre dans les réseaux industriels (domaines

de l'usine du future, industrie 4.0 / usines fortement reconfigurables), les réseaux intra-véhiculaires (domaines de véhicules de tout type : automobile, camions, bus, train, bateau...), ou encore dans le cœur du réseau 5G/6G (pour véhiculer des communications temps réels).

- [0035] Pour obtenir les résultats recherchés, il est proposé un procédé de routage d'un flux de données dans un réseau déterministe sensible au temps, pour router les paquets d'un flux de données depuis un terminal émetteur vers un terminal récepteur, le réseau comprenant des commutateurs pour la transmission des paquets, lesdits commutateurs étant configurés pour mettre en œuvre une planification de transmission prédéfinie sur des cycles de temps répétés ayant des créneaux de temps de longueur fixe, le procédé étant mis en œuvre par ordinateur et comprenant des étapes consistant à :
 - [0036] - générer en prenant en compte un paramètre de latence de chemin, un ensemble de 'k' chemins les plus courts entre le terminal émetteur et le terminal récepteur ;
 - [0037] - pour un chemin 'm' parmi les 'k' chemins :
 - [0038] - calculer pour chaque commutateur de ce chemin, un intervalle de tolérance sur la durée du cycle, l'intervalle de tolérance définissant une durée pendant laquelle les paquets dudit flux de données peuvent rester au niveau dudit commutateur avant d'être transmis, sans dépasser une date limite d'arrivée au terminal récepteur ;
 - [0039] - déterminer si un créneau de temps peut être réservé sur le cycle prédéfini pour chaque commutateur, et si oui sélectionner ce chemin pour router ledit flux de données ; ou
 - [0040] - s'il existe un ou plusieurs commutateurs n'ayant pas de créneau de temps pouvant être réservé, déterminer si un créneau de temps peut être disponible dans l'intervalle de tolérance calculé pour chaque commutateur, et si oui sélectionner ce chemin pour router ledit flux de données, ou si non itérer les étapes précédentes de calcul d'intervalle de tolérance et de détermination de créneau de temps pour un autre chemin 'm+1' parmi les 'k' chemins.
- [0041] L'invention peut être mise en œuvre selon des modes de réalisation alternatifs ou combinés, où :
 - [0042] - l'étape de générer les 'k' chemins les plus courts consiste à mettre en œuvre un algorithme de Yen.
 - [0043] - le paramètre de latence de chemin est calculé à partir du délai de propagation et le temps de séjour moyen des paquets au niveau d'un commutateur.
 - [0044] - l'intervalle de tolérance est calculé sur la base d'une répartition équitable entre tous les commutateurs du chemin.
 - [0045] - l'intervalle de tolérance est calculé en fonction de la charge de chaque commutateur du chemin, et consistant à attribuer un intervalle de tolérance plus grand aux commutateurs plus chargés.

- [0046] - le procédé comprend des étapes consistant à retarder l'envoi de paquets pour les commutateurs plus chargés, et à accélérer l'envoi des paquets pour les commutateurs moins chargés.
- [0047] - le procédé comprend une étape consistant à annuler des réservations de créneaux de temps faites sur des commutateurs précédant un commutateur pour lequel il n'existe pas de créneau de temps disponible dans l'intervalle de tolérance.
- [0048] - le procédé comprend une étape préliminaire consistant à synchroniser tous les commutateurs et tous les terminaux connectés au réseau TSN entre eux.
- [0049] L'invention concerne aussi un dispositif de routage de flux de données dans un réseau déterministe sensible au temps, pour router les paquets d'un flux de données depuis un terminal émetteur vers un terminal récepteur, le réseau comprenant des commutateurs pour la transmission des paquets, lesdits commutateurs étant configurés pour mettre en œuvre une planification de transmission prédéfinie sur des cycles de temps répétés ayant des créneaux de temps de longueur fixe,, le dispositif comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé de l'invention.
- [0050] Avantageusement, le procédé de la présente invention peut être mis en œuvre dans les deux infrastructures de gestion de réseau présentées dans le standard IEEE 802.1Qcc, à savoir, l'infrastructure centralisée et l'infrastructure distribuée.
- [0051] Dans un mode de réalisation pour l'approche centralisée, le procédé s'exécute au niveau du contrôleur central CNC (« Central Network Controller » en anglais).
- [0052] Dans un mode de réalisation pour l'approche distribuée, chaque commutateur d'un réseau TSN détermine l'allocation de créneaux de temps et il publie cette allocation vers ses voisins.
- [0053] L'invention concerne aussi un produit programme d'ordinateur qui comprend des instructions de code permettant d'effectuer les étapes du procédé de l'invention, lorsque le programme est exécuté sur un ordinateur.

Description des figures

- [0054] La [Fig.1] est un exemple simplifié pour illustrer la problématique du routage dans un réseau TSN.
- [0055] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit et des figures des dessins annexés dans lesquels :
- [0056] La [Fig.2] illustre la mesure du délai de propagation entre deux nœuds d'un réseau TSN ;
- [0057] La [Fig.3] illustre les échanges entre des nœuds d'un réseau TSN pour synchroniser les horloges ;
- [0058] La [Fig.4] illustre l'identification de créneaux de temps disponibles dans un intervalle de tolérance, selon un mode de réalisation de l'invention ;

- [0059] La [Fig.5] illustre sur un exemple simplifié, la mise en œuvre du procédé de routage de l'invention dans un réseau TSN ;
- [0060] La [Fig.6a] et la [Fig.6b] sont un organigramme des étapes du procédé pour déterminer un chemin de routage selon un mode de réalisation de l'invention ;
- [0061] La [Fig.7a] illustre un environnement de réseau TSN selon une approche centralisée IEEE 802.1Qcc, permettant de mettre en œuvre le procédé de l'invention ;
- [0062] La [Fig.7b] illustre un environnement de réseau TSN selon une approche distribuée IEEE 802.1Qcc, permettant de mettre en œuvre le procédé de l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0063] La description détaillée est faite pour un environnement de réseau déterministe TSN selon la norme IEEE 802.1 et les standards associés. Dans la description, les différents termes utilisés avec un acronyme comme Qbv, Qcc, AS, etc, doivent être compris comme désignant ledit terme selon le standard correspondant pour la norme IEEE 802.1. Ainsi par exemple, le cycle Qbv signifie le cycle tel que défini par le standard IEEE 802.1Qbv.
- [0064] Il est à noter que les expressions 'plage de temps', 'créneau de temps', 'time slots' sont utilisées indifféremment pour désigner une durée d'allocation de ressources temporelles.
- [0065] Pour que la planification puisse assurer les latences bornées exigées dans le contexte des réseaux déterministes, tous les commutateurs TSN ainsi que les terminaux connectés à un réseau TSN sont considérés parfaitement synchronisés entre eux, notamment en suivant le standard IEEE 802.1AS.
- [0066] Selon les principes TSN connus de l'homme du métier, un nœud du réseau joue le rôle de maître (GM), le « GrandMaster » selon l'anglicisme consacré, les autres nœuds jouant le rôle de nœud esclave « Slave ». L'élection du GM peut être effectuée par un humain ou par un algorithme tel que par exemple le « Best Master Clock Algorithm » (BMCA).
- [0067] La norme IEEE 802.1AS permet aux appareils TSN (i.e. du réseau TSN) de synchroniser leurs horloges avec l'horloge de référence d'un GM. Le protocole connu « Precision Time Protocol » (PTP) et sa version améliorée le protocole (gPTP) « Generalized Precision Time Protocol », sont utilisés pour synchroniser les horloges. L'objectif de ce protocole est de s'assurer que le besoin applicatif en termes de synchronisation temporelle est atteint. Son rôle est de synchroniser les terminaux et les commutateurs appartenant au même domaine.
- [0068] Ce protocole est établi selon le principe d'horloge maître et d'horloges esclaves. L'horloge maître servant de référence temporelle est appelée « horloge de référence » et son heure peut être éventuellement synchronisée (via GPS, NTP, etc) sur une

horloge appelée horloge globale.

- [0069] Le GM annonce d'une manière régulière sa présence. Il envoie avec une fréquence configurée son horloge aux esclaves afin qu'ils puissent synchroniser leur horloge à celle du GM. Le fonctionnement du standard repose sur l'échange d'informations de synchronisation telles que les horodatages (« Timestamp » selon l'anglicisme consacré) d'envoi et de réception de messages de type gPTP (ou PTP).
- [0070] Pour assurer une synchronisation temporelle précise, le standard IEEE 802.1AS propose de mesurer le délai de propagation entre deux nœuds d'un réseau TSN de la manière suivante, illustrée sur la [Fig.2] :
- [0071] Le port maître d'un premier système du réseau TSN (« Time-aware system 1 ») envoie un message de requête de délai 'Pdelay_Req', tout en capturant le timestamp d'envoi 't1'.
- [0072] Le terme "Time-aware System" est défini en anglais dans le standard IEEE 802.1AS comme étant « a device that contains one or more PTP Instances and/or PTP services (e.g., Common Mean Link Delay Service). » Cette définition signifie qu'il s'agit alors d'un équipement qui est capable de participer dans la synchronisation temporelle telle que définie dans le standard IEEE 802.1AS, c'est-à-dire un équipement capable de faire le « Hardware Timestamping » et d'échanger des messages temporels avec ses voisins.
- [0073] A la réception du message 'Pdelay_Req', le port esclave d'un deuxième système du réseau TSN (« Time-aware system 2 ») récupère le timestamp de réception 't2' du message.
- [0074] Le port esclave du deuxième système « Time-aware system 2 » envoie un message de réponse 'Pdelay_Resp' contenant le timestamp de réception 't2', et récupère le timestamp d'envoi 't3' de ce message de réponse 'Pdelay_Resp'.
- [0075] Le port maître du premier système « Time-aware system 1 » reçoit le message de réponse 'Pdelay_Resp' et capture le timestamp de réception 't4'.
- [0076] Le port esclave du deuxième système « Time-aware system 2 » envoie un message de suivi 'Pdelay_Resp_Follow_Up' contenant le timestamp d'envoi 't3' du message de réponse précédent 'Pdelay_Resp'.
- [0077] A la fin de cet échange de trois messages, le premier système « Time-aware system 1 » dispose des quatre Timestamp (t1, t2, t3, t4), qui vont permettre de calculer un délai de propagation moyen 'D', selon l'équation suivante :
- [0078]
$$D = \frac{(t4-t3)+(t2-t1)}{2}.$$
- [0079] Le délai maître-esclave 't4-t3' et le délai esclave-maître 't2-t1' qui sont déterminés comme les différences entre les horodatages respectifs permettent de calculer un délai moyen à partir duquel l'esclave connaît la différence entre son horloge et l'horloge du

maître, ce qui lui permet alors de régler sa propre horloge.

- [0080] Le standard IEEE 802.1AS inclut une deuxième phase d'échange protocolaire qui complète la première phase et permet de synchroniser les horloges entre plusieurs systèmes d'un réseau sensible au temps. La [Fig.3] illustre cet échange sur trois systèmes (i-1, i, i+1).
- [0081] Le port maître du premier système 'i-1' (« Time-aware system i-1 ») envoie un message de synchronisation 'Sync' à un port esclave d'un deuxième système 'i' (« Time-aware system i »), tout en capturant le timestamp d'envoi 't(s,i-1)'.
- [0082] Le port esclave du deuxième système 'i' (« Time-aware system i ») reçoit le message de synchronisation 'Sync' et capture le timestamp de réception 't(r,i)' correspondant.
- [0083] Le port maître du premier système 'i-1' (« Time-aware system i-1 ») envoie au port esclave du deuxième système 'i' un message de suivi 'Follow_Up' contenant le timestamp d'envoi 't(s,i-1)' du message de synchronisation précédent.
- [0084] Un port maître du deuxième système 'i' (« Time-aware system i ») peut à son tour envoyer le message de synchronisation 'Sync' à un port esclave d'un troisième système 'i+1' (« Time-aware system i+1 »), tout en capturant le timestamp d'envoi 't(s,i)' correspondant.
- [0085] Le port esclave du troisième système 'i+1' (« Time-aware system i+1 ») reçoit le message de synchronisation 'Sync' et capture le timestamp de réception 't(r,i+1)' correspondant.
- [0086] Le port maître du deuxième système 'i' (« Time-aware system i ») envoie au port esclave du troisième système 'i+1' le message de suivi 'Follow_Up' contenant le timestamp d'envoi 't(s,i-1)' du premier message de synchronisation envoyé par la premier système 'i-1'.
- [0087] De cette manière, le deuxième système 'i' et le troisième système 'i+1' peuvent se synchroniser sur l'horloge de référence du premier système 'i-1'.
- [0088] Comme indiqué précédemment, le procédé de routage de l'invention considère que tous les commutateurs TSN ainsi que les terminaux connectés au réseau TSN sont considérés parfaitement synchronisés entre eux, pour assurer la propriété de « Just-in-Time » requise par certains flux.
- [0089] Par la synchronisation temporelle mise en place, les commutateurs peuvent alors récupérer une information sur les latences des routes ou chemins (en récupérant les délais de propagation et le délai de séjour moyen des paquets au niveau des commutateurs pour déterminer la latence de chaque route ou chemin).
- [0090] Le procédé de routage de l'invention a pour objectif d'assurer l'arrivée des paquets à leur destination « juste à temps », c'est-à-dire pas avant ni après la date limite (« deadline »). En effet, par exemple pour les systèmes en boucle fermée dits « closed-loop systems » en anglais, les messages envoyés par un capteur doivent

arriver juste à l'instant où un contrôleur doit vérifier s'il y a un message reçu de la part de ce capteur.

- [0091] La date limite est un paramètre prédéfini pour répondre au besoin applicatif des flux de l'application concernée, et il peut être fixé par l'opérateur ou le concepteur de l'application. Par exemple, pour une boucle de type « capteur / contrôleur PLC / actionneur » qui exige une latence maximum à ne pas dépasser, une donnée qui va être enregistrée au niveau du capteur doit impérativement arriver au bout d'un temps précis au niveau du contrôleur PLC. Le paramètre de date limite peut aussi être configuré au niveau du contrôleur PLC qui contient une boucle pour lui permettre de vérifier l'arrivée d'une nouvelle donnée émise par le capteur.
- [0092] Le principe général du procédé de routage de l'invention, est d'exploiter les informations sur la topologie réseau ainsi que des données venant du protocole IEEE 802.1AS, afin de calculer et choisir les routes qui permettent de minimiser les latences pour chaque flux.
- [0093] Les données venant du protocole IEEE 802.1 AS vont notamment être un temps de propagation entre des nœuds, un temps de séjour moyen des paquets au niveau d'un commutateur.
- [0094] Le procédé de routage de l'invention utilise la latence d'un chemin comme métrique pour sélectionner ou non ce chemin. Le procédé permet de calculer les k chemins les plus courts entre un terminal émetteur et un terminal récepteur, puis pour chaque chemin, le procédé détermine pour chaque saut de la route (i.e. pour chaque commutateur situé sur ce chemin) un intervalle de tolérance.
- [0095] L'intervalle de tolérance d'un commutateur va permettre de définir pour combien de temps les paquets d'un flux qui a sa propre contrainte de latence, peuvent patienter au niveau du commutateur (i.e. ne pas être retransmis dès leur arrivée) avant d'être transférés vers le nœud suivant de la route, sans dépasser la date limite d'arrivée de chaque paquet du flux à destination (« deadline »).
- [0096] Ainsi un intervalle de tolérance TI_i^j pour un flux ST_j au niveau d'un commutateur SW_i , est calculé en tenant compte de la date limite pour le flux, de la latence du chemin et du nombre de sauts (i.e. de commutateurs) sur ce chemin.
- [0097] Avantageusement, le calcul d'un intervalle de tolérance pour chaque commutateur d'un chemin, apporte de la latitude au module de planification pour le choix des créneaux de temps à réserver pour chaque flux.
- [0098] En effet, si un créneau de temps qui doit être réservé pour un flux ST_j au niveau d'un commutateur SW_i , n'est pas disponible, l'algorithme de planification prend alors en compte l'intervalle de tolérance qui a été calculé pour ce commutateur, et vérifie s'il peut sélectionner un autre créneau de temps en restant dans l'intervalle de tolérance.

- [0099] La [Fig.4] illustre sur la durée d'un cycle, une identification de créneaux de temps disponibles dans un intervalle de tolérance.
- [0100] Dans les réseaux TSN, pour allouer un créneau de temps à un flux donné, les algorithmes de planification déterminent en général un créneau de temps disponible sur tout le cycle Qbv (hors les créneaux de temps 402 dédiés pour le trafic de contrôle réseau échangé entre les commutateurs), et allouent, i.e. réservent, ce créneau pour le flux.
- [0101] Sur la [Fig.4], il est illustré en hachuré, que deux créneaux de temps 404 qui sont calculés par l'algorithme de planification pour être réservés pour un flux, sont déjà occupés, i.e. réservés pour un autre flux. Selon le principe de l'invention, l'algorithme de planification prend en compte l'intervalle de tolérance 406 calculé pour ce commutateur lors du routage, pour déterminer si d'autres créneaux de temps sont libres tout en restant dans la plage couverte par l'intervalle de tolérance. Dans l'exemple de la [Fig.4], de nouveaux créneaux de temps ultérieurs peuvent ainsi être attribués parmi les créneaux de temps disponibles 408 existants sur l'intervalle de tolérance 406.
- [0102] Le procédé de routage de l'invention permet pour chaque flux devant être transmis d'un terminal émetteur vers un terminal récepteur au sein d'un réseau TSN, de calculer au moins deux chemins possibles en utilisant la latence de chaque chemin comme métrique, puis permet de vérifier la possibilité de réserver des créneaux de temps disponibles dans l'intervalle de tolérance qui est calculé pour chaque commutateur se trouvant sur un chemin.
- [0103] La [Fig.5] illustre un exemple de la mise en œuvre du procédé de routage de l'invention dans un réseau TSN simplifié constitué de quatre commutateurs d'accès TSN (S1, S2, S3, S4). Un terminal récepteur L1 qui est connecté au réseau TSN est abonné à trois terminaux émetteurs (T1, T2, T3) qui sont eux-mêmes connectés au réseau TSN. Le terminal récepteur reçoit des flux (i.e. des paquets de données) de chaque émetteur via des chemins différents, les flux transitant par des commutateurs différents.
- [0104] Tel qu'illustré, un flux ST1 émis par l'émetteur T1 est transmis au récepteur L1 via les commutateurs S1 et S3, un flux ST2 émis par l'émetteur T2 est transmis au récepteur L1 via les commutateurs S2 et S3, et un flux ST3 émis par l'émetteur T3 est transmis au récepteur L1 via les commutateurs S2 et S3.
- [0105] L'émetteur T3 doit émettre un nouveau flux ST4 vers le récepteur L1. La mise en œuvre du procédé de routage de l'invention permet de déterminer le chemin de routage pour ce nouveau flux ST4.
- [0106] Selon l'exemple, le flux ST4 ne peut pas emprunter le même chemin (S2 / S3 / L1) que le chemin calculé pour le flux ST3 issu du même terminal émetteur T3 et ne peut pas emprunter le même chemin (S2 / S3 / L1) que le chemin calculé pour le flux ST2

issu du terminal émetteur T2, car il ne reste plus de créneaux de temps disponibles dans le cycle pour ce commutateur S3 (illustré sur le diagramme de cycle du haut).

- [0107] Aussi, le procédé de routage de l'invention, après avoir déterminé que le premier chemin calculé (S2 / S3 / L1) n'est pas réservable pour le flux ST4, va calculer un chemin alternatif pour chercher un autre commutateur que S3 ayant des créneaux de temps disponibles, tout en respectant l'intervalle de tolérance.
- [0108] Dans l'exemple illustré, le commutateur S4 dispose de créneaux de temps disponibles qui peuvent être attribués au flux ST4 (illustré sur le diagramme de cycle du bas). Le procédé permet alors de déterminer que l'acheminement du nouveau flux ST4 peut se faire depuis le terminal émetteur T3 vers le terminal récepteur L1 en passant successivement par le commutateur S2 puis le commutateur S4 selon une route (T3 / S2 / S4 / L1).
- [0109] L'homme du métier comprend que la [Fig.5] est prise pour illustrer de manière simplifiée le principe du procédé de l'invention, mais que ce dernier peut être mis en œuvre sur un réseau TSN comprenant une pluralité de terminaux émetteurs, terminaux récepteurs, commutateurs, et pour de nombreux flux à acheminer.
- [0110] La [Fig.6a] et la [Fig.6b] illustrent sous un organigramme, un mode de réalisation d'étapes du procédé de routage 600 de l'invention, appliqué à l'acheminement d'un nouveau flux.
- [0111] Etape 602 : dans une étape initiale, le procédé permet d'établir ou de récupérer la configuration du réseau, sous la forme d'un graphe G identifiant le nœud source (src : terminal émetteur), le nœud destination (dst : terminal récepteur), les nœuds intermédiaires (les commutateurs pouvant relier la source à la destination), et les liens entre les nœuds. Le procédé permet dans cette étape initiale de définir le nombre k de chemins les plus courts à calculer, et définir la latence du chemin comme métrique pour le calcul. Cette métrique peut être calculée à partir du délai de propagation et le temps de séjour moyen des paquets au niveau du commutateur, valeurs qui peuvent être fournies par le standard IEEE 802.1AS.
- [0112] Etape 604 : dans une étape suivante, le procédé permet de calculer pour ce graphe, les 'k' chemins les plus courts en prenant en compte la métrique de latence.
- [0113] Dans un mode de réalisation, l'algorithme Yen bien connu est utilisé pour trouver les 'k' chemins les plus courts.
- [0114] Le procédé entre ensuite dans une boucle de calcul pour chaque chemin 'm' parmi les 'k' chemins les plus courts.
- [0115] Etape 606 : le procédé permet de calculer des intervalles de tolérance TI_i^j associés à chaque commutateur du chemin 'm'.
- [0116] Dans un mode de réalisation, l'intervalle de tolérance est calculé sur la base d'une ré-

partition équitable entre tous les commutateurs qui se trouvent sur un chemin entre un émetteur et un récepteur, d'un « budget global » de latence toléré (par les flux applicatifs).

[0117] L'intervalle de tolérance TI_i^j pour un flux ST_j au niveau d'un commutateur SW_i , est calculé selon l'équation suivante :

$$[0118] \quad TI_i^j = \frac{\text{deadline } ST_j - \text{latence du chemin } ST_j}{\text{nombre de sauts}} .$$

[0119] Dans un autre mode de réalisation, la répartition du budget global de latence toléré, peut se faire d'une manière non équitable, et être attribué selon différents critères, par exemple en fonction de la charge de chaque commutateur du chemin.

[0120] Dans ce mode de réalisation, l'intervalle de tolérance peut être calculé selon l'équation suivante :

$$[0121] \quad TI_i^j = \alpha_i \left(\frac{\text{deadline } ST_j - \text{latence du chemin } ST_j}{\sum \alpha_i} \right) \text{ où } \alpha_i \text{ représente le coefficient de charge du commutateur } SW_i.$$

[0122] Le coefficient de charge peut être calculé selon l'équation suivante :

$$[0123] \quad \alpha_i = \frac{nbFlux_i}{\max_i(nbFlux_i)} \text{ où } nbFlux_i \text{ représente le nombre de flux entrants dans le commutateur } SW_i, \text{ et } \max_i(nbFlux_i) \text{ représente la charge d'un chemin en fonction de}$$

nombre des flux entrants aux commutateurs faisant partie de ce chemin.

[0124] Dans un scenario où un premier commutateur sur une route qui a été calculée pour l'envoi d'un flux (comme étant une route des 'k' chemins les plus courts) est assez chargé, le procédé permet d'attribuer à ce premier commutateur un intervalle de tolérance plus grand que ceux des autres commutateurs. Ainsi, le premier commutateur pourra être configuré pour retarder l'envoi des paquets du flux concerné, alors que le reste des commutateurs seront configurés pour accélérer l'envoi de ces paquets afin de ne pas rajouter des latences sur le chemin.

[0125] Etape 608 : l'étape suivante consiste à identifier un créneau de temps à réserver pour le nouveau flux dans chaque commutateur SW_i^m du chemin 'm'.

[0126] Etape 610 : le procédé permet de déterminer si un créneau de temps est disponible et réservable dans chaque commutateur SW_i^m du chemin 'm'.

[0127] Etape 612 : s'il n'y a pas de créneau de temps disponible sur le commutateur SW_i^m , le procédé permet de vérifier si un créneau de temps peut être disponible en considérant l'intervalle de tolérance qui a été calculé pour ce commutateur.

[0128] Etape 614 : s'il n'est pas possible de réserver sur le commutateur SW_i^m un créneau de temps dans l'intervalle de tolérance, le chemin 'm' n'est alors pas une route permettant d'acheminer le flux considéré, et le procédé permet d'annuler les réservations de

créneau de temps faites sur les commutateurs précédents.

- [0129] Etape 616 : le procédé permet de passer au chemin suivant « $m = m + 1$ » dans la liste des 'k' chemins les plus courts.
- [0130] Etape 618 : le procédé permet de vérifier si tous les 'k' chemins ont été traités. Si des chemins n'ont pas encore été traités, le procédé retourne à l'étape 606 pour calculer des intervalles de tolérance pour chaque commutateur associé au chemin suivant à traiter.
- [0131] Etape 620 : si tous les chemins ont été traités, et qu'il n'a pas été possible de réserver des créneaux de temps pour acheminer le nouveau flux, le procédé se termine en indiquant qu'aucun chemin n'est disponible pour traiter le nouveau flux.
- [0132] Etape 622 : revenant à l'étape 610, si un créneau de temps est disponible sur le commutateur SW_i^m du chemin 'm', le procédé permet de réserver ce créneau de temps.
- [0133] Etape 624 : le procédé permet de passer au commutateur suivant sur le chemin 'm'.
- [0134] Etape 626 : le procédé permet de vérifier si tous les commutateurs du chemin 'm' en cours d'analyse ont été traités. Si tous les commutateurs du chemin 'm' n'ont pas été traités, le procédé reboucle sur l'étape 610 pour déterminer s'il est possible de réserver des créneaux de temps dans le commutateur suivant, et poursuit par les étapes décrites.
- [0135] Etape 628 : si tous les commutateurs ont été traités, signifiant qu'il a été possible d'attribuer des créneaux de temps dans tous les commutateurs du chemin 'm', le procédé se termine en indiquant le chemin sélectionné pour traiter le nouveau flux.
- [0136] Dans un mode de réalisation, l'étape 608 pour identifier si des créneaux de temps sont réservables dans un commutateur est faite selon le procédé décrit dans la demande de brevet FR 2112233 de la Demanderesse.
- [0137] Afin d'assurer la configuration et la gestion des réseaux TSN, la norme IEEE 802.1Qcc propose principalement deux approches : une approche centralisée et une approche distribuée. Le procédé décrit peut être mis en œuvre dans chacune de ces deux configurations.
- [0138] Approche centralisée :
- [0139] L'approche centralisée fournie par le standard IEEE 802.1Qcc est illustrée par la [Fig.7a], où l'ensemble des commutateurs TSN du réseau est contrôlé, géré et configuré par une entité centralisée CNC (« Centralized Network Configuration »). Les terminaux (Parleurs / Auditeurs) qui vont utiliser le réseau TSN fournissent les caractéristiques de leur flux à une entité CUC (« Centralized User Configuration ») en utilisant des logiciels tiers (« middleware ») comme par exemple OPC UA, ROS, DDS.... L'entité CUC a pour rôle de regrouper les demandes des terminaux/appliqués pour utiliser le réseau TSN et de les fournir à l'entité CNC. Les demandes sont analysées par le CNC tout en ayant les informations sur les capacités actuelles du réseau TSN. Si la réservation des ressources pour de nouveaux flux est possible, le

CNC répond au CUC que ces terminaux/applications peuvent utiliser le réseau. Le CNC peut aussi fournir à ces terminaux/applications le créneau à utiliser (i.e. quand commencer à utiliser le réseau). Par exemple, il peut demander à une application de commencer à envoyer ses données dans x millisecondes. Dans le cas où la réservation des ressources est impossible pour certains flux, le CNC rejette les demandes associées à ces flux. Dans cette approche, le procédé de l'invention peut être implémenté et mis en œuvre au niveau du CNC.

[0140] Approche distribuée :

[0141] Dans le cas d'une gestion de réseau distribuée, comme illustrée sur la [Fig.7b], une phase initiale est nécessaire où les commutateurs d'accès TSN doivent échanger des messages entre eux afin de converger vers une répartition de créneaux de temps. Une fois la convergence obtenue, chacun des commutateurs d'accès alloue un créneau de temps pour le nouveau flux parmi les créneaux de temps qui lui sont associés, et ensuite il propage cette information vers les commutateurs cœur de réseau TSN afin qu'ils intègrent cette nouvelle réservation.

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de routage d'un flux de données dans un réseau déterministe sensible au temps, pour router les paquets d'un flux de données depuis un terminal émetteur vers un terminal récepteur, le réseau comprenant des commutateurs pour la transmission des paquets, lesdits commutateurs étant configurés pour mettre en œuvre une planification de transmission prédéfinie sur des cycles de temps répétés ayant des créneaux de temps de longueur fixe, le procédé étant mis en œuvre par ordinateur et comprenant des étapes consistant à :

- générer (602, 604) en prenant en compte un paramètre de latence de chemin, un ensemble de 'k' chemins les plus courts entre le terminal émetteur et le terminal récepteur ;
- pour un chemin 'm' parmi les 'k' chemins :
 - calculer (606) pour chaque commutateur de ce chemin, un intervalle de tolérance sur la durée du cycle, l'intervalle de tolérance définissant une durée pendant laquelle les paquets dudit flux de données peuvent rester au niveau dudit commutateur avant d'être transmis, sans dépasser une date limite d'arrivée au terminal récepteur ;
 - déterminer (608, 610, 622, 624, 626) si un créneau de temps peut être réservé sur le cycle prédéfini pour chaque commutateur, et si oui sélectionner (628) ce chemin pour router ledit flux de données ; ou
 - s'il existe un ou plusieurs commutateurs n'ayant pas de créneau de temps pouvant être réservé, déterminer (612, 614, 616, 618) si un créneau de temps peut être disponible dans l'intervalle de tolérance calculé pour chaque commutateur, et si oui sélectionner (620) ce chemin pour router ledit flux de données, ou si non itérer les étapes précédentes de calcul d'intervalle de tolérance et de détermination de créneau de temps pour un autre chemin 'm+1' parmi les 'k' chemins.

[Revendication 2]

Le procédé selon la revendication 1 dans lequel l'étape de générer les 'k' chemins les plus courts consiste à mettre en œuvre un algorithme de

Yen.

- [Revendication 3] Le procédé selon la revendication 1 ou 2 dans lequel le paramètre de latence de chemin est calculé à partir du délai de propagation et le temps de séjour moyen des paquets au niveau d'un commutateur.
- [Revendication 4] Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel l'intervalle de tolérance est calculé sur la base d'une répartition équitable entre tous les commutateurs du chemin.
- [Revendication 5] Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 dans lequel l'intervalle de tolérance est calculé en fonction de la charge de chaque commutateur du chemin, et consistant à attribuer un intervalle de tolérance plus grand aux commutateurs plus chargés.
- [Revendication 6] Le procédé selon la revendication 5 comprenant des étapes consistant à retarder l'envoi de paquets pour les commutateurs plus chargés, et à accélérer l'envoi des paquets pour les commutateurs moins chargés.
- [Revendication 7] Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 comprenant une étape consistant à annuler des réservations de créneaux de temps faites sur des commutateurs précédant un commutateur pour lequel il n'existe pas de créneau de temps disponible dans l'intervalle de tolérance.
- [Revendication 8] Le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 comprenant une étape préliminaire consistant à synchroniser tous les commutateurs et tous les terminaux connectés au réseau TSN entre eux.
- [Revendication 9] Un produit programme d'ordinateur, ledit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code permettant d'effectuer les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
- [Revendication 10] Un dispositif de routage de flux de données dans un réseau déterministe sensible au temps, pour router les paquets d'un flux de données depuis un terminal émetteur vers un terminal récepteur, le réseau comprenant des commutateurs pour la transmission des paquets, lesdits commutateurs étant configurés pour mettre en œuvre une planification de transmission prédéfinie sur des cycles de temps répétés ayant des créneaux de temps de longueur fixe, le dispositif comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.
- [Revendication 11] Utilisation du dispositif selon la revendication 10 dans un réseau sensible au temps implémentant une architecture réseau centralisée.
- [Revendication 12] Utilisation du dispositif selon la revendication 10 dans un réseau

- sensible au temps implémentant une architecture réseau distribuée.
- [Revendication 13] Utilisation du dispositif selon la revendication 10 dans un réseau déterministe sensible au temps TSN implémentant une architecture réseau centralisée ou distribuée par des moyens définis selon les spécifications de la norme IEEE 802.1 Qcc.

[Fig. 1]

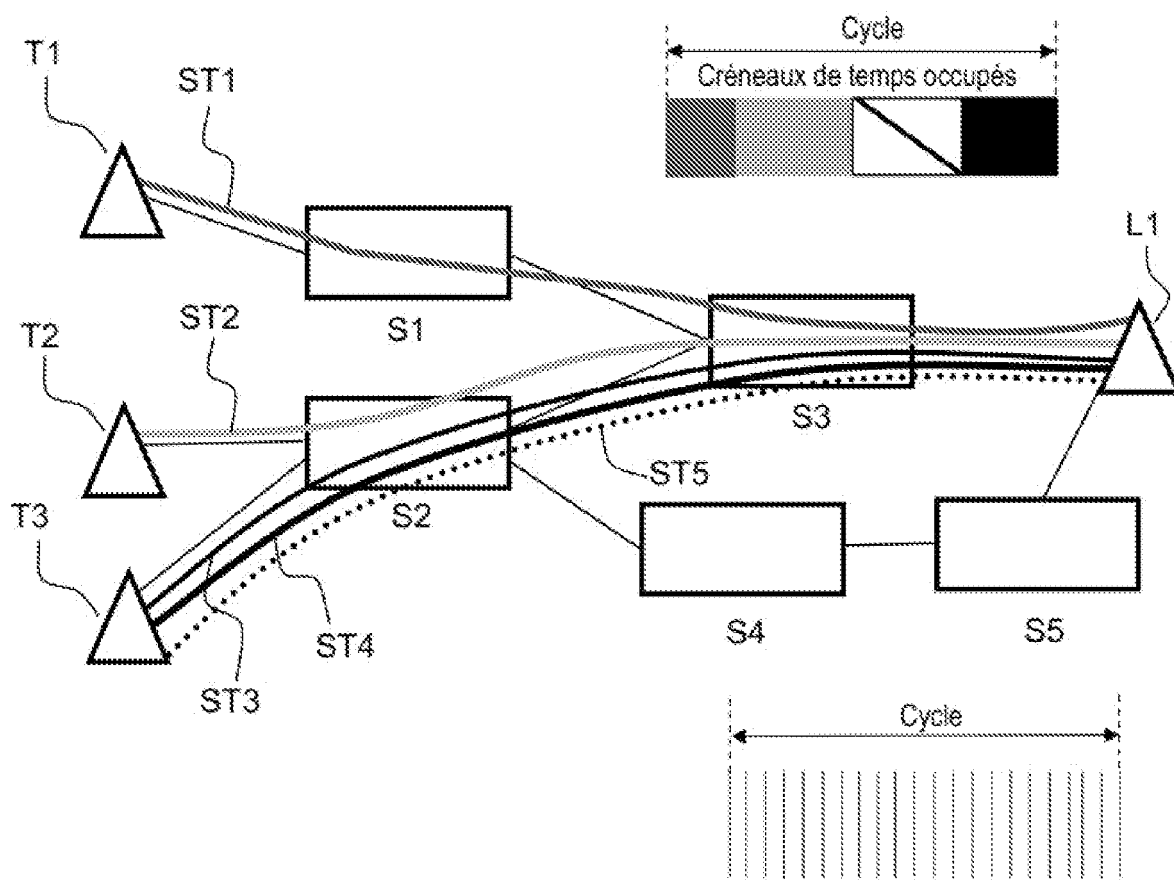


FIG.1

[Fig. 2]

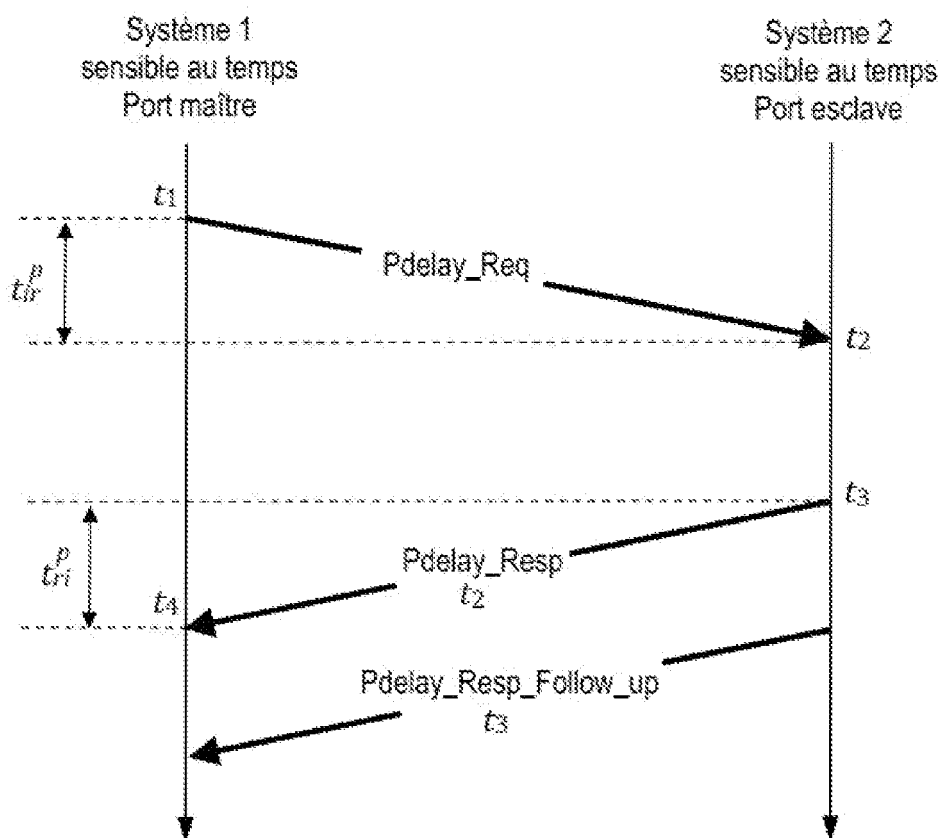


FIG.2

[Fig. 3]

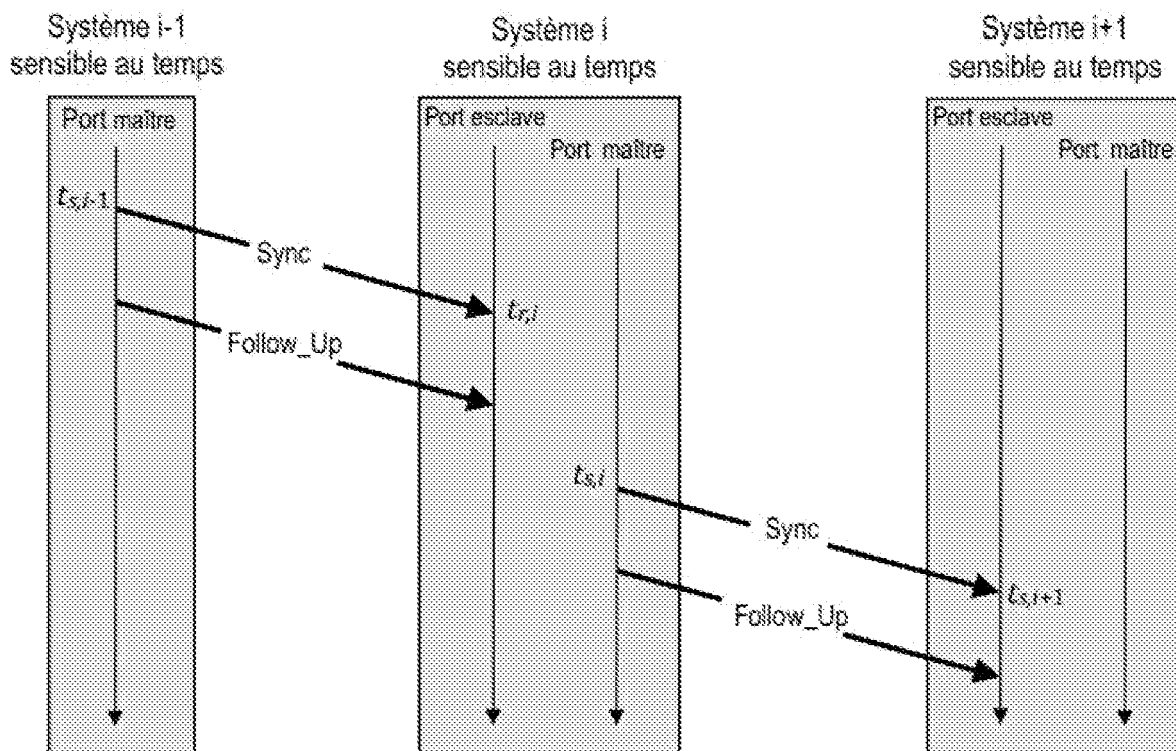


FIG.3

[Fig. 4]

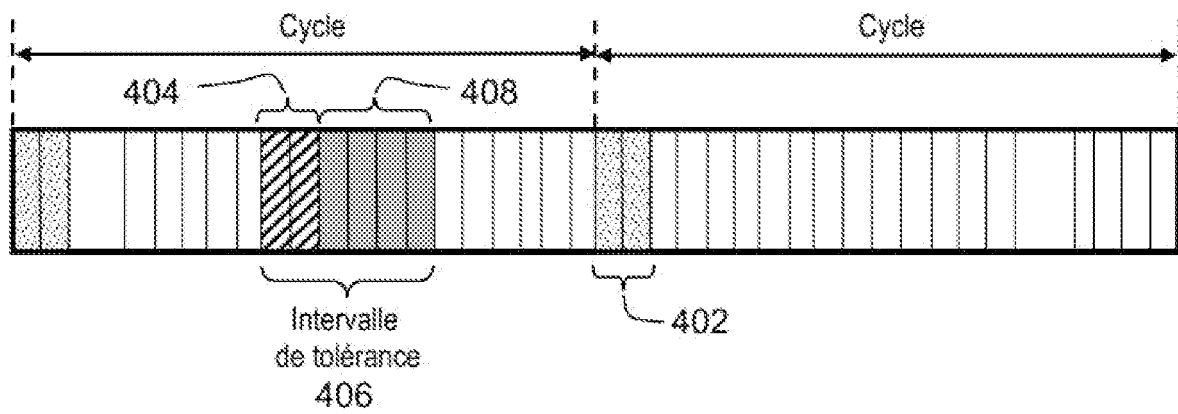


FIG.4

[Fig. 5]

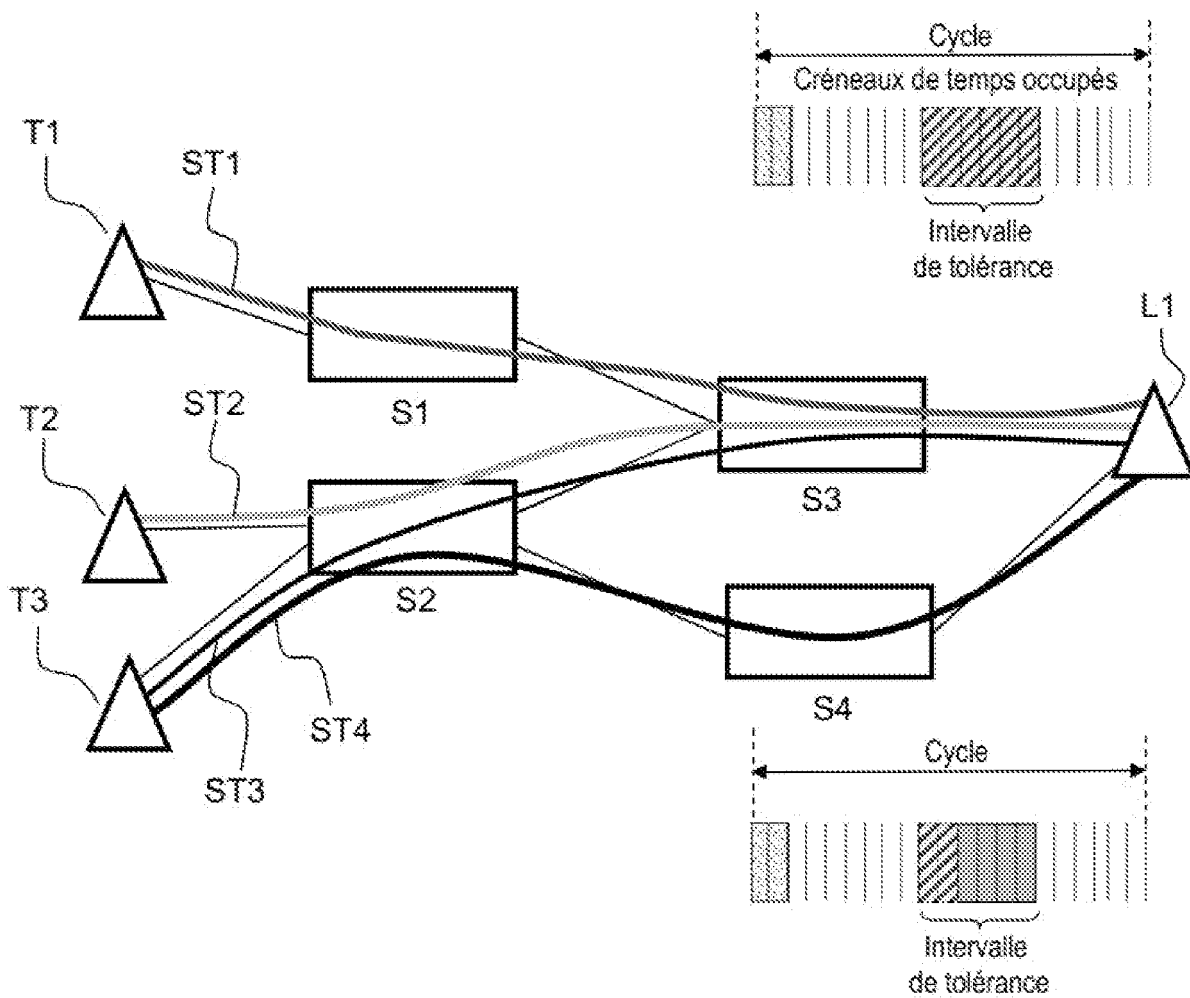


FIG.5

[Fig. 6a]

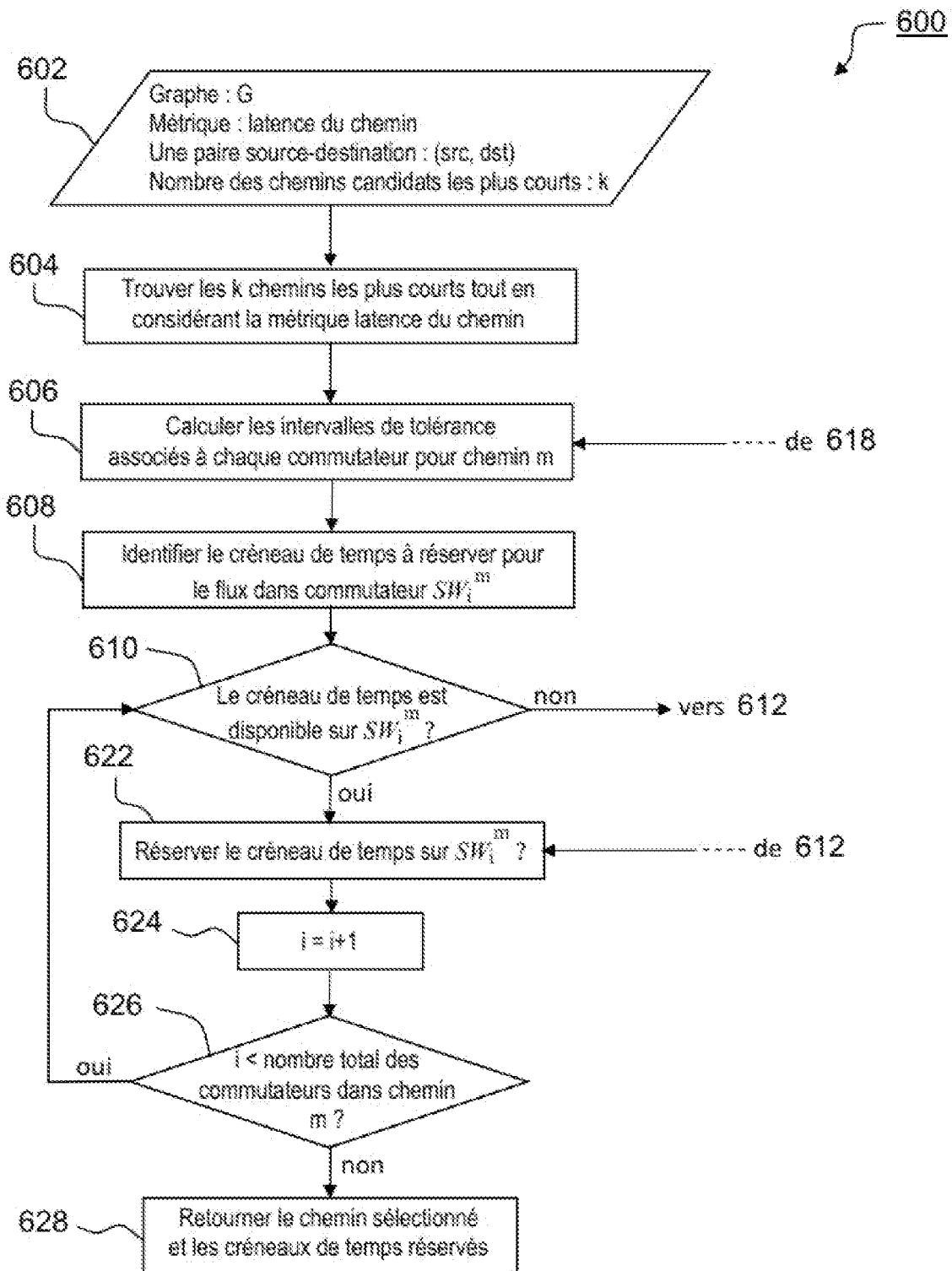


FIG.6a

[Fig. 6b]

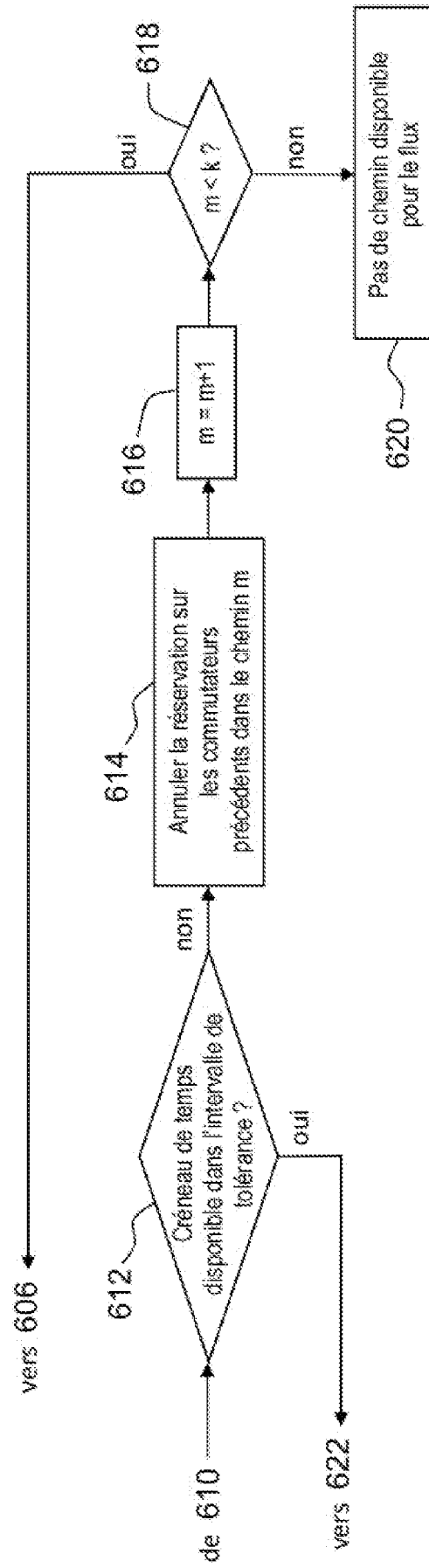


FIG.6b

[Fig. 7a]

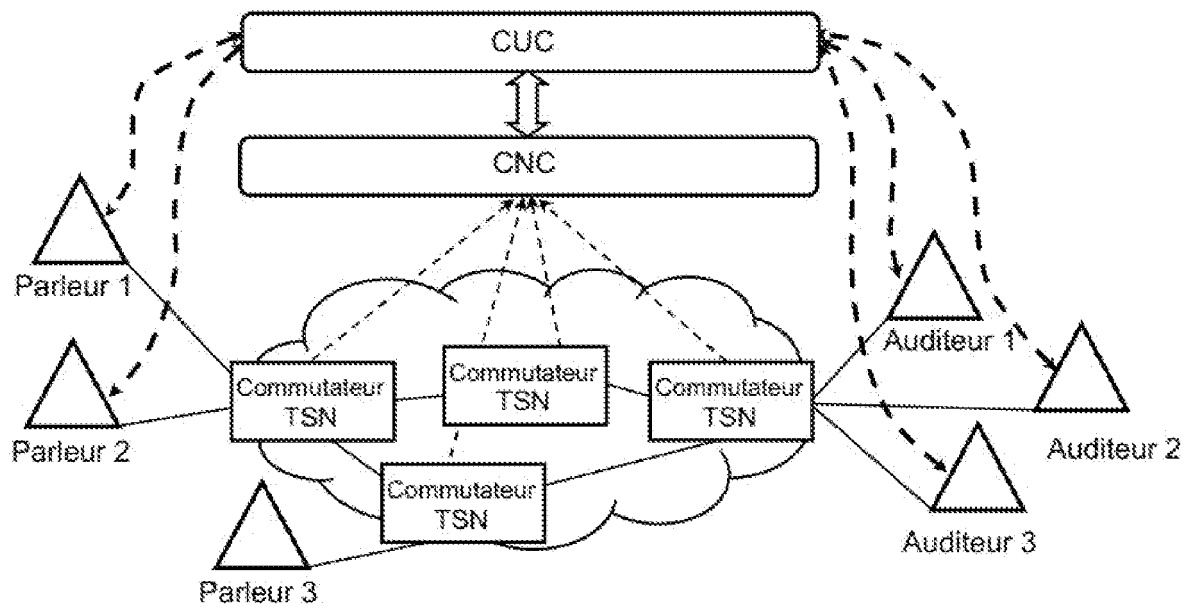


FIG.7a

[Fig. 7b]

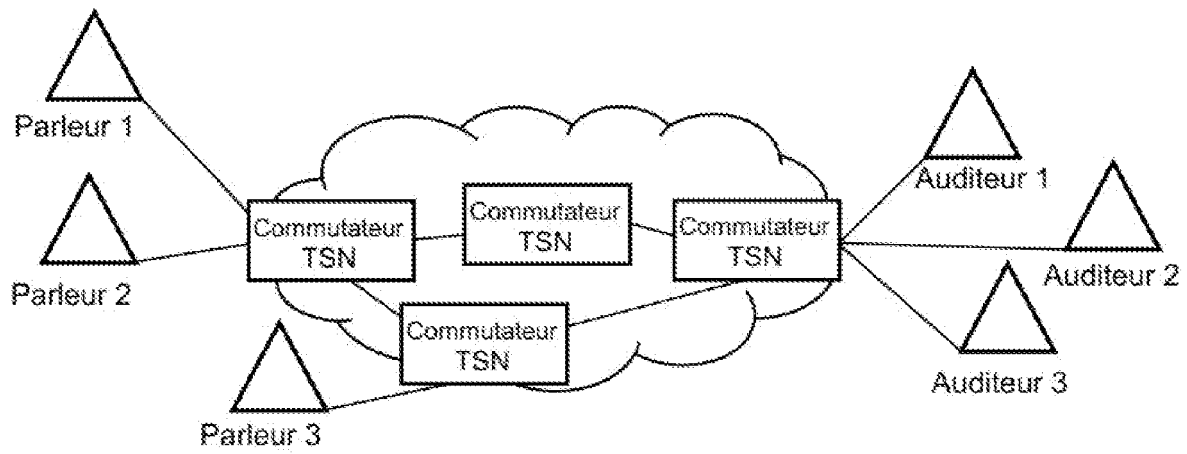


FIG.7b

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**

US 2018/237039 A1 (MONG TAB ROBERT [US] ET
AL) 23 août 2018 (2018-08-23)

EP 3 869 752 A1 (MOXA INC [TW])
25 août 2021 (2021-08-25)

US 2016/127246 A1 (ASHWOOD-SMITH PETER
[CA] ET AL) 5 mai 2016 (2016-05-05)

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

NEANT

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

NEANT