

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

11 N° de publication : **3 136 915**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
21 N° d'enregistrement national : **22 06443**

51 Int Cl<sup>8</sup> : **H 04 L 1/18** (2023.01), **H 04 L 1/20**, **27/26**, **H 04 W 72/54**

12 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

22 Date de dépôt : 28.06.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 22.12.23 Bulletin 23/51.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : *ORANGE Société anonyme* — FR.

72 Inventeur(s) : *AL KHANSA Ali et VISOZ Raphaël.*

73 Titulaire(s) : *ORANGE Société anonyme.*

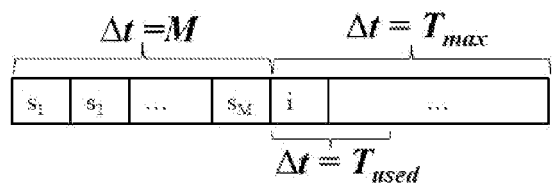
74 Mandataire(s) :

54 Procédé de transmission et système OMAMRC avec une stratégie de sélection lors de retransmissions tenant compte du débit des sources et d'un unique échange de contrôle.

57 Procédé de transmission et système OMAMRC avec une stratégie de sélection lors des retransmissions tenant compte du débit des sources et d'un échange de contrôle

La présente invention se rapporte à un procédé de transmission d'une trame transportant des messages destiné à un système de télécommunication OMAMRC à N nœuds dont sources et une destination. La transmission comprend un nombre maximum de intervalles de temps par trame transmise répartis entre une 1ère phase et une 2nde phase. La sélection des sources à aider pendant la 2nde phase tient compte des nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour que la destination décode les sources non encore correctement décodées et d'une somme de débits attribués aux sources.

Figure pour l'abrégié: Fig.2



FR 3 136 915 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de transmission et système OMAMRC avec une stratégie de sélection lors de retransmissions tenant compte du débit des sources et d'un unique échange de contrôle**

#### **Domaine de l'invention**

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine des communications numériques. Au sein de ce domaine, l'invention se rapporte plus particulièrement à la transmission de données codées entre au moins deux sources et une destination avec relayage par au moins un nœud pouvant être un relais ou une source.
- [0002] Il est entendu qu'un relais n'a pas de message à transmettre. Un relais est un nœud dédié au relayage des messages des sources tandis qu'une source à son propre message à transmettre et peut en outre dans certain cas relayer les messages des autres sources i.e. la source est dite coopérative dans ce cas.
- [0003] Il existe de nombreuses techniques de relayage connues sous leur appellation anglo-saxonne : « amplify and forward », « decode and forward », « compress-and-forward », « non-orthogonal amplify and forward », « dynamic decode and forward », etc.
- [0004] L'invention s'applique notamment, mais non exclusivement, à la transmission de données via des réseaux mobiles, par exemple pour des applications temps réel, ou via par exemple des réseaux de capteurs.
- [0005] Un tel réseau de capteurs est un réseau multi-utilisateurs, constitué de plusieurs sources, plusieurs relais et un destinataire utilisant un schéma d'accès multiple orthogonal en temps du canal de transmission entre les relais et les sources, noté OMAMRC (« *Orthogonal Multiple-Access Multiple-Relay Channel* » selon la terminologie anglosaxonne).

#### **Art antérieur**

- [0006] Le système de télécommunication OMAMRC considéré illustré par la figure 1 a N nœuds et une destination avec une mise en œuvre d'un schéma d'accès multiple orthogonal en temps du canal de transmission qui s'applique entre les N nœuds. Les N nœuds comprennent M sources et L relais. Le nombre maximum d'intervalles de temps par trame transmise est de  $M + T_{max}$  avec M intervalles alloués pendant une première phase à la transmission successive des M sources et  $T_{used} \leq T_{max}$  intervalles pour une ou plusieurs transmissions coopératives alloués pendant une deuxième phase à un ou plusieurs nœuds sélectionnés par la destination selon une stratégie de sélection.
- [0007] Un tel système de transmission OMAMRC mettant en œuvre une stratégie de sélection lors de la deuxième phase est connu de l'article [1]. Le système de

transmission OMAMRC décrit est tel que chacune des sources peut fonctionner à des instants différents soit exclusivement comme une source, soit comme un nœud de relaying. La terminologie nœud couvre aussi bien un relais qu'une source agissant comme un nœud de relaying ou comme une source. Un relais se distingue d'une source car il n'a pas de message à transmettre qui lui soit propre i.e. il ne fait que re-transmettre des messages provenant d'autres nœuds.

- [0008] Les liens entre les différents nœuds du système sont sujets à des évanouissements lents (slow fading) et à du bruit blanc Gaussien. La connaissance de tous les liens du système (CSI : Channel State Information) par la destination n'est pas disponible. En effet, les liens entre les sources, entre les relais, entre les relais et les sources ne sont pas directement observables par la destination et leur connaissance par la destination nécessiterait un échange d'information trop important entre les sources, les relais et la destination. Pour limiter le coût de la surcharge de la voie de retour (feedback overhead), représentée en pointillés sur la [Fig.1], seule une information sur la distribution/statistique des canaux (CDI : Channel Distribution Information) de tous les liens, e.g. qualité moyenne (par exemple SNR moyen, SINR moyen) de tous les liens, est supposée connue par la destination dans le but de déterminer les débits alloués aux sources.
- [0009] L'adaptation de lien est dit de type lent c'est-à-dire qu'avant toute transmission, la destination alloue des débits initiaux aux sources connaissant la distribution de tous les canaux (CDI: Channel Distribution Information). En général, il est possible de remonter à la distribution CDI sur la base de la connaissance du SNR ou SINR moyen de chaque lien du système.
- [0010] Les transmissions des messages des sources sont formatées en trames pendant lesquelles les CSI des liens sont supposés constants (hypothèse d'évanouissements lents). L'allocation de débit est supposée ne pas changer pendant plusieurs centaines de trames, elle change uniquement avec les changements de CDI.
- [0011] Le procédé distingue trois phases, une phase initiale et, pour chaque trame à transmettre, une 1ère phase et une 2nde phase. La transmission d'une trame se déroule en deux phases qui sont éventuellement précédées d'une phase additionnelle dite initiale.
- [0012] Lors de la phase d'initialisation, la destination détermine un débit initial  $R_i$  pour chaque source  $S_i$  en prenant en compte la qualité (par exemple SNR) moyenne de chacun des liens du système.
- [0013] La destination estime la qualité (par exemple SNR) des liens directs : source vers destination et relais vers destination selon des techniques connues basées sur l'exploitation de signaux de référence. La qualité des liens source – source, relais – relais et source – relais est estimée par les sources et les relais en exploitant par

exemple les signaux de référence. Les sources et les relais transmettent à la destination les qualités moyennes des liens. Cette transmission intervient avant la phase d'initialisation. Seule la valeur moyenne de la qualité d'un lien étant prise en compte, son rafraîchissement intervient à une échelle de temps longue c'est-à-dire sur un temps qui permet de moyenniser les variations rapides (fast fading) du canal. Ce temps est de l'ordre du temps nécessaire pour parcourir plusieurs dizaines de longueur d'onde de la fréquence du signal transmis pour une vitesse donnée d'un nœud du système. La phase d'initialisation intervient par exemple toutes les 200 à 1000 trames. La destination remonte aux sources via une voie de retour les débits initiaux qu'elle a déterminés. Les débits initiaux restent constants entre deux occurrences de la phase d'initialisation.

- [0014] Lors de la première phase, les  $M$  sources transmettent successivement leur message pendant les  $M$  intervalles de temps (time-slots) en utilisant respectivement des schémas de modulation et de codage déterminés à partir des débits initiaux. Pendant cette phase, le nombre  $N_1$  d'utilisations du canal (channel use i.e. ressource element selon la terminologie du 3GPP) est fixe et identique pour chacune des sources.
- [0015] Les sources indépendantes entre elles diffusent pendant la première phase leurs séquences d'informations codées sous forme de messages à l'attention d'un seul destinataire. Chaque source diffuse ses messages avec son débit initial. La destination communique à chaque source son débit initial via des canaux de contrôle à débit très limité. Ainsi, pendant la première phase, les sources transmettent chacune à leur tour leur message respectif pendant des intervalles de temps « time-slot » dédiés chacun à une source.
- [0016] Les sources autres que celle qui émet et éventuellement les relais, de type « Half Duplex » reçoivent les messages successifs des sources et les décodent.
- [0017] Lors de la deuxième phase, la destination sélectionne pour l'intervalle courant  $t$  un seul nœud pris parmi les sources et les relais pour coopérer. Ce nœud sélectionne de manière aléatoire la source qu'il aide parmi celle qu'il a correctement décodé et que la destination n'a pas encore décodé correctement en transmettant une redondance du message de cette source.
- [0018] Cette phase dure au maximum  $T_{max}$  intervalles de temps (time-slots). Pendant cette phase, le nombre  $N_2$  d'utilisations du canal (channel use) est fixe et identique pour chacun des nœuds (sources et relais) sélectionné.
- [0019] Cet article enseigne des signaux de contrôle qui consistent, pour la destination à diffuser  $M$  bits qui indiquent son jeu de sources correctement décodées à l'intervalle  $t-1$ , pour les nœuds qui ont correctement décodé une source que la destination n'a pas encore correctement décodé à transmettre un signal sur un canal dédié unicast et pour les autres à rester silencieux et enfin pour la destination à diffuser le résultat de sa sélection selon la stratégie de sélection retenue.

[0020] Bien que ces échanges limitent la surcharge liée à la signalisation tout en permettant une maximisation de l'efficacité spectrale moyenne (métrique d'utilité) au sein du système considéré sous-contrainte de respecter une qualité de service individuelle (QoS) par source, il peut être souhaitable de limiter encore plus la surcharge de signalisation.

[0021] La présente invention répond à cet objectif.

### **Caractéristiques principales de l'invention**

[0022] La présente invention a pour objet un procédé de transmission d'une trame transportant des messages destiné à un système de télécommunication OMAMRC à  $M$  sources  $s_i \in \{1, \dots, M\}$ , éventuellement  $L$  relais  $r_1, \dots, r_L$  et une destination,  $M \geq 2$ ,  $L \geq 0$ , les nœuds fonctionnant en mode half-duplex, selon un schéma d'accès multiple orthogonal du canal de transmission entre les  $N$  nœuds avec un nombre maximum de  $M + T_{max}$  intervalles de temps par trame transmise répartis entre une 1<sup>ère</sup> phase et une 2<sup>ème</sup> phase,  $1 \leq T_{max}$ , le message d'une source ayant été codé avant transmission selon un codage de type à redondance incrémental qui génère plusieurs redondances, la 1<sup>ère</sup> phase comprend  $M$  intervalles alloués respectivement aux transmissions successives des  $M$  sources et la 2<sup>ème</sup> phase comprend au moins un intervalle de retransmission pour une transmission de nœuds ayant décodés correctement une même source  $s_i$  telle que ces nœuds transmettent simultanément pendant le même intervalle de retransmission la même redondance du message d'une même source non encore correctement décodée par la destination, dite source à aider. Le procédé selon l'invention est tel qu'il comprend :

- une unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination, ces transmissions permettant à la destination de déterminer, pour chacune de ces sources, une qualité d'un canal équivalent basée sur une qualité des canaux entre les nœuds ayant correctement décodés cette source et la destination,
- une estimation d'un nombre d'intervalles de retransmission suffisant ( $x_i(0)$ ) pour que la destination décode une source ( $s_i$ ) non encore correctement décodée et correctement décodées par au moins un nœud sur la base de la qualité d'un canal équivalent pour cette source entre ce au moins un nœud et la destination et d'un débit ( $R_i$ ) attribué à cette source ( $s_i$ ),
- une sélection par la destination des sources à aider en tenant compte des nombres ( $x_i(0)$ ) estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour que la destination décode les sources non encore correctement décodées et d'une somme de débits ( $R_i$ ) attribués aux sources.

- [0023] Ainsi, le nombre d'échange de contrôle entre la source et les nœuds est réduit à un seul échange au cours duquel les nœuds communiquent à la destination leur jeu de sources correctement décodées. Si la destination a préalablement communiqué son propre jeu de sources correctement décodées, la transmission par les nœuds peut ne contenir que leur jeu de sources correctement décodées moins celles déjà décodées correctement par la destination. La transmission des nœuds permet à la destination d'évaluer la qualité des canaux nœuds-destination pour estimer par source un nombre suffisant d'intervalles de retransmission pour que la destination décode correctement cette source. Connaissant ces nombres d'intervalles suffisant, la destination peut alors sélectionner successivement les sources à aider soit de manière aléatoire, soit de manière ordonnée parmi celles dont le nombre d'intervalles suffisant est inférieur au temps restant avant d'atteindre  $T_{max}$ . L'ordonnancement peut se faire en sélectionnant successivement les sources en fonction des nombres croissants d'intervalles suffisant. L'invention a pour avantage de ne pas gaspiller de transmission si aucune source ne peut être aider dans le temps restant.
- [0024] L'invention a en outre pour objet, un système comprenant  $M$  sources  $s_1, \dots, s_M$ , éventuellement  $L$  relais  $r_1, \dots, r_L$  et une destination  $d$ ,  $M \geq 2$ ,  $L \geq 0$ , pour une mise en œuvre d'un procédé de transmission selon l'invention.
- [0025] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination est réalisée au début de la 2<sup>nd</sup>e phase.
- [0026] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre une comparaison entre une somme de nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour aider la destination à décoder des sources non encore correctement décodées et un nombre d'intervalles de temps restant pendant la 2<sup>nd</sup>e phase pour aider la destination à décoder correctement une ou plusieurs sources.
- [0027] Selon ce mode, le procédé additionne au moins deux nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant et compare le résultat au temps restant. Si le résultat de l'addition est inférieur au temps restant, toutes les sources intervenant dans l'addition peuvent être aidées pendant la 2<sup>nd</sup>e phase.
- [0028] Selon un mode de réalisation de l'invention, la comparaison est mise à jour après le décodage correct d'une source par la destination.
- [0029] Comme le décodage correct par la destination d'une source peut intervenir avant la fin du nombre estimé d'intervalles de retransmission suffisant (transmissions coopératives), ce mode permet à une autre source à aider de bénéficier du temps non consommé.
- [0030] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement

décodées par la destination fait partie d'un échange de contrôle au cours duquel la source transmet son jeu de sources correctement décodées.

- [0031] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé est tel qu'au cours de l'échange, un nœud envoie uniquement son jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination.
- [0032] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé est tel qu'au cours de l'échange, un nœud envoie son jeu de sources correctement décodées.
- [0033] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre une comparaison entre les nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour que la sélection tienne compte d'un ordonnancement de ces nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant.
- [0034] Selon ce mode, les nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant sont classés selon leur valeur. Et, de préférence, le procédé sélectionne d'abord la source pour laquelle le nombre estimé d'intervalles de retransmission suffisant est le plus petit. La même source est aidée pendant la durée correspondant à ce nombre estimé ou pendant une durée plus courte si son décodage correct par la destination intervient avant la fin du nombre estimé. Le procédé considère ainsi successivement les sources restant à décoder correctement. Le procédé est stoppé lorsque toutes les sources sont correctement décodées par la destination, lorsqu'aucune source non encore correctement décodée ne peut être aidée ou lorsque le temps maximal est atteint.
- [0035] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé comprend en outre une détermination d'un ensemble de sources pouvant être aidées tenant compte des nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant et d'un temps restant avant la fin de la 2<sup>nd</sup>e phase et tel que la sélection des sources à aider se fait de manière aléatoire parmi l'ensemble des sources pouvant être aidées.
- [0036] Selon un mode de réalisation de l'invention, le procédé est tel que si aucune source ne peut être aidée dans le temps restant avant la fin de la 2<sup>nd</sup>e phase alors la transmission de la trame est interrompue avant l'utilisation du nombre maximal d'intervalles de retransmission suffisant
- [0037] L'invention a en outre pour objet chacune des applications logicielles spécifiques sur un ou plusieurs supports d'information, lesdites applications comportant des instructions de programme adaptées à la mise en œuvre du procédé de transmission lorsque ces applications sont exécutées par des processeurs.
- [0038] L'invention a en outre pour objet des mémoires configurées comportant des codes d'instructions correspondant respectivement à chacune des applications spécifiques.
- [0039] La mémoire peut être incorporée dans n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. La mémoire peut-être de type ROM, par exemple un CD ROM ou une ROM de circuit microélectronique, ou encore de type magnétique, par exemple

une clé USB ou un disque dur.

[0040] D'autre part, chaque application spécifique selon l'invention peut être téléchargée depuis un serveur accessible sur un réseau de type Internet.

[0041] Les caractéristiques optionnelles présentées ci-dessus dans le cadre du procédé de transmission peuvent éventuellement s'appliquer à l'application logicielle et à la mémoire ci-dessus évoquées.

### Liste des figures

[0042] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante de modes de réalisation, donnés à titre de simples exemples illustratifs et non limitatifs, et des dessins annexés, parmi lesquels :

[0043] [Fig.1] la [Fig.1] est un schéma d'un exemple de système dit Coopérative OMAMRC (Orthogonal Multiple Access Multiple Relays Channel) décrit en regard de l'art antérieur,

[0044] [Fig.2] la [Fig.2] est un schéma d'un cycle de transmission d'une trame selon un exemple de mise en œuvre de l'invention,

[0045] [Fig.3] la [Fig.3] est un schéma du protocole des échanges de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds, sources et relais, selon un mode de réalisation de l'invention.

### Description de modes de réalisation particuliers

[0046] Une utilisation du canal (channel use) est la plus petite granularité en ressource temps-fréquence défini par le système qui permet la transmission d'un symbole modulé. Le nombre d'utilisations du canal est lié à la bande de fréquence disponible et à la durée de transmission.

[0047] Un système OMAMRC est illustré par la [Fig.1] déjà décrite.

[0048] Un système OMAMRC selon l'invention comprend  $M$  sources qui appartiennent au jeu de sources  $\mathbf{S} = \{s_1, \dots, s_M\}$ , éventuellement  $L$  relais qui appartiennent au jeu de relais  $\mathbf{R} = \{r_1, \dots, r_L\}$  et une destination  $d$ . Par convention, il est considéré que  $s_i = i \forall i \in \{1, \dots, M\}$  et  $r_i = M + i \forall i \in \{1, \dots, L\}$ , dit autrement, on peut confondre une source et son indice, et un relais et son indice (décalé de la valeur  $M$  du nombre de sources). Chaque source du jeu  $\mathbf{S}$  communique avec l'unique destination avec l'aide des autres sources (user cooperation) et des relais qui coopèrent.

[0049] **Cycle de transmission d'une trame selon l'invention**

[0050] Un cycle de transmission d'une trame selon un exemple de mise en œuvre de l'invention est illustré par la [Fig.2].

[0051] Le procédé selon l'invention distingue deux phases pour chaque trame à transmettre, une 1<sup>ère</sup> phase et une 2<sup>nde</sup> phase. La transmission d'une trame est éventuellement précédée d'une phase additionnelle dite initiale au cours de laquelle sont alloués les

débits.

- [0052] Les  $M$  sources accèdent au canal de transmission selon un schéma d'accès multiple orthogonal en temps pendant la 1<sup>ère</sup> phase. Pendant la 2<sup>nde</sup> phase, l'accès au canal de transmission des  $N$  nœuds qui comprennent les  $M$  sources et éventuellement les  $L$  relais est considéré comme orthogonal car à chaque intervalle de retransmission les nœuds actifs transmettent en parallèle une même redondance d'un même message d'une même source  $i$ .
- [0053] Les  $N$  nœuds fonctionnent selon un mode half-duplex qui leur permet d'écouter sans interférence les transmissions des autres nœuds. Les sources peuvent se comporter comme un relais quand elles n'émettent pas uniquement leur propre message.
- [0054] Les CSI des liens sont supposés constants (hypothèse d'évanouissements lents) pendant la transmission d'une trame. De temps en temps, la destination alloue des débits aux sources connaissant la distribution de tous les canaux (CDI: Channel Distribution Information). L'allocation de débits est supposée ne pas changer pendant plusieurs centaines de trames, elle change uniquement avec les changements de CDI.
- [0055] Chacun des débits alloués détermine de manière non ambiguë un schéma de modulation et de codage (MCS, Modulation and Coding Scheme) et inversement chaque MCS détermine un débit. La remontée des débits alloués est effectuée depuis la destination vers les sources via des canaux de contrôle à débit très limité (représentés en traits pointillés sur la [Fig.1]).
- [0056] A titre de simplification de la description, les suppositions suivantes sont faites par la suite sur le système OMAMRC :
- les sources, les relais et la destination sont équipés d'une seule antenne d'émission (ou port d'antenne d'émission) ;
  - les sources, les relais et la destination sont équipés d'une seule antenne de réception (ou port d'antenne de réception) ;
  - les sources, les relais et la destination sont parfaitement synchronisés ;
  - les sources sont statistiquement indépendantes (il n'y a pas de corrélation entre elles) ;
  - tous les nœuds émettent avec une même puissance ;
  - il est fait usage d'un code CRC supposé inclus dans les  $K_i$  bits d'information de chaque source  $i$  pour déterminer si le message associé aux bits d'information est correctement décodé ou pas,  $i \in S$  ;
  - les liens entre les différents nœuds souffrent de bruit additif et d'évanouissement. Les gains d'évanouissement sont fixes pendant la transmission d'une trame effectuée pendant une durée maximale de  $M + T_{max}$  intervalles de temps, mais peuvent changer indépendamment d'une trame à une autre.  $T_{max} \geq 1$  est un paramètre du système ;

- la qualité instantanée d'un canal/lien direct en réception (CSIR Channel State Information at Receiver) est disponible à la destination, aux sources et aux relais ;
- les retours sont sans erreur (pas d'erreur sur les signaux/canaux de contrôle).

[0057] Les notations suivantes sont utilisées :

- $R_i = K_i/N_1$  est une variable discrète représentant le débit de la source  $i$  fourni par un procédé d'adaptation de lien mis en œuvre avant la transmission des trames,
- $T_{used}$  est le nombre d'intervalles de retransmission utilisés pendant la 2<sup>de</sup> phase,  $T_{used} \in \{1, \dots, T_{max}\}$ , il correspond au nombre de transmissions pendant cette phase,
- $\alpha = N_2/N_1$  est le rapport entre le nombre d'utilisations du canal disponibles à chaque intervalle de temps (slots) de la 2<sup>de</sup> phase et le nombre d'utilisations du canal disponibles à chaque intervalle de temps (slots) de la 1<sup>ère</sup> phase,
- $\tilde{S}_{d,l}$  est le jeu de sources non correctement décodées par la destination à l'issue de l'intervalle de retransmission  $l$ ,  $l \in \{1, \dots, T_{used}\}$ ,
- $S_{a,l}$  est le jeu de sources correctement décodées par le nœud  $a \in \text{S U R}$  à l'issue de l'intervalle de retransmission  $l$ ,  $l \in \{1, \dots, T_{used}\}$ ,
- $O_{i,t}$  est l'indicateur de défaut (outage) qui prend la valeur un quand un événement de défaut individuel intervient et la valeur zéro dans les autres cas.  $O_{i,T_{max}}$  représente l'événement de défaut de la source  $i$  i.e. la source n'est pas décodée correctement à l'issue de l'envoi d'une trame compte tenu que le nombre maximum d'intervalles de retransmission  $T_{max}$  a été atteint sans que cette source  $i$  soit correctement décodée. L'événement de défaut individuelle  $O_{i,t}$  dépend à chaque intervalle de retransmission  $l$  (slot) de l'information mutuelle des nœuds ayant correctement décodés la source  $i$ ,
- $I_{i,d}$  représente l'information mutuelle entre la source  $i \in \{1, \dots, M\}$  et la destination  $d$ ,
- $J_{i,d}(l)$  représente l'information mutuelle entre l'ensemble des nœuds aidant la source  $i$  et la destination à l'intervalle de retransmission  $l$  (il est considéré un canal équivalent formé des différents canaux entre ces nœuds et la destination). Par convention,  $J_{i,d}(0)$  est égal à  $I_{i,d}$ .

### Transmission d'une trame selon l'invention

[0058] Pendant la première phase du procédé, les sources  $i \in \text{S}$  transmettent successivement après codage leur message  $u_i$  comportant  $K_i$  bits d'information  $u_i \in \mathbb{F}_2^{K_i}$ ,  $\mathbb{F}_2$  étant le corps de Galois à deux éléments. Le message  $u_i$  comprend un code de type CRC qui

permet de vérifier l'intégrité du message  $u_i$ . Le message  $u_i$  est codé selon le MCS déterminé par le débit alloué. Compte tenu que les MCS peuvent être différents entre les sources, les longueurs des messages codés peuvent être différentes entre les sources. Le codage utilise un code de type à redondance incrémentale. Le mot de code obtenu est segmenté en redondances successives. Le code à redondance incrémentale peut être de type systématique, les bits d'information sont alors inclus dans la première redondance. Que le code à redondance incrémentale soit ou pas de type systématique, il est tel que la première redondance peut être décodée de manière indépendante des autres redondances. Le code de type à redondance incrémentale peut être réalisé par exemple au moyen d'une famille finie de codes linéaires poinçonnés à rendements compatibles ou de codes sans rendement modifiés pour fonctionner avec des longueurs finies : code raptor (RC), turbo code poinçonné de rendement compatible (RCPTC rate compatible punctured turbo code), code convolutionnel poinçonné de rendement compatible (RCPCC rate compatible punctured convolutional code), LDPC de rendement compatible (RCLDPC rate compatible low density parity check code).

- [0059] La transmission par une source comprend de manière classique un ou plusieurs signaux de référence. La destination estime de manière connue le canal et donc sa qualité entre chacune des sources et la destination en exploitant par exemple le ou les signaux de référence reçus.
- [0060] Que ce soit pendant la première phase ou la deuxième phase, lorsqu'un nœud transmet, en particulier une source, la destination et les autres nœuds écoutent.
- [0061] La destination, les sources et les relais tentent de décoder les redondances reçues à la fin d'un intervalle de temps. Le succès du décodage à chaque nœud est décidé en utilisant le CRC. La destination et les nœuds déterminent ainsi leur jeu de sources correctement décodés à chaque intervalle.
- [0062] La 2<sup>de</sup> phase de transmission du procédé comprend  $t = \{1, \dots, T_{used}\}$  intervalles de retransmission avec pour convention que  $t = 0$  correspond au dernier intervalle de transmission de la première phase. Le terme retransmission associé à un intervalle est utilisé en lien avec la 2<sup>de</sup> phase pour indiquer clairement que toute transmission pendant cette phase d'une  $n^{\text{ième}}$  redondance du message d'une source  $i$  intervient alors que cette source  $i$  a déjà transmis la 1<sup>ère</sup> redondance de ce même message lors de la 1<sup>ère</sup> phase.
- [0063] Contrairement à l'art antérieur, il n'y a pas à chaque intervalle de retransmission d'échange de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds : la destination ne remonte pas systématiquement à chaque intervalle de retransmission son jeu de sources correctement décodées ni d'indication sur un décodage correct ou pas, les nœuds ne transmettent pas systématiquement à chaque intervalle de retransmission leur jeu de sources correctement décodées ni d'indication sur leur décodage correct ou pas.

L'échange de contrôle de décodage pour une mise à jour de la connaissance par la destination des jeux de sources correctement décodées par les nœuds intervient uniquement lorsque  $t = 1$ , c'est-à-dire au début de la seconde phase. Cet échange peut intervenir de manière équivalente à la fin de la première phase.

[0064] Lors de cet échange les nœuds transmettent à la destination leur jeu de sources correctement décodées ou au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore décodées correctement par la destination. La transmission par un nœud comprend de manière classique un ou plusieurs signaux de référence. La destination estime de manière connue le canal et donc sa qualité entre chacun des nœuds et la destination en exploitant par exemple le ou les signaux de référence reçus à cet intervalle  $t = 1$ .

[0065] Ainsi, les nœuds transmettent à la destination leur jeu de sources correctement décodées ou au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore décodées correctement par la destination une fois uniquement i.e. lors du dernier intervalle de transmission,  $t = 0$  ou de manière équivalente lors du 1<sup>er</sup> intervalle de retransmission,  $t = 1$ .

[0066] Par contre, la destination sélectionne à chaque intervalle de retransmission une source dite source à aider en utilisant un canal de contrôle de diffusion de la destination vers les nœuds. Les nœuds ayant correctement décodé cette source transmettent alors une même redondance du message de cette source lors de cet intervalle en utilisant un canal de données. Aider une source signifie aider la destination à décoder cette source en transmettant par les nœuds ayant correctement décodé cette source une redondance du message de cette source pendant la 2<sup>nd</sup>e phase.

### **Sélection selon l'invention**

[0067] La sélection par la destination d'une source à aider à chaque intervalle de retransmission est explicitée ci-après à l'appui de la [Fig.3] qui illustre l'unique échange de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds selon un mode de réalisation. Selon ce mode, la destination remonte aux nœuds son jeu de sources correctement décodées et les nœuds transmettent leur jeu de sources correctement décodées. Selon un autre mode, la destination remonte aux nœuds son jeu de sources correctement décodées et les nœuds transmettent leur jeu de sources correctement décodées et pas encore décodées correctement par la destination. Selon un autre mode, la destination remonte aux nœuds un signal indiquant une absence de décodage correct, NACK et les nœuds transmettent leur jeu de sources correctement décodées.

[0068] Pendant la 2<sup>nd</sup>e phase, la destination ordonnance tour à tour les sources non encore correctement décodées pour un nombre donné de transmissions successives afin de maximiser le débit somme reçu. Une transmission, pendant un intervalle de retransmission, pour aider une source  $i$  correspond à la transmission d'une même version

de redondance de son message par tous les nœuds ayant correctement décodé cette source. Les transmissions pour aider une source  $i$  commencent à l'intervalle de retransmission  $t_{s,i}$  et finissent quand la source est décodée.

[0069] L'événement de défaut individuelle de la source  $i$ , pour laquelle les intervalles de retransmission commencent à  $t_{s,i}$ , à la fin de l'intervalle de retransmission  $t-1$ ,  $O_{i,t-1}$ , peut s'exprimer sous la forme :

$$[0070] \quad O_{i,t-1} = \left\{ R_i > I_{i,d} + \alpha \sum_{l=t_{s,i}}^{t-1} J_{i,d}(l) \right\} \quad (1)$$

[0071] Cette expression traduit le fait que la source  $i$  n'est pas décodée correctement à l'intervalle de retransmission  $t-1$  si le débit  $R_i$  de la source est supérieur à la somme des capacités de transmission. Cette capacité de transmission comprend la capacité du canal entre cette source  $i$  et la destination qui intervient pendant la 1<sup>ère</sup> phase et une somme pondérée par  $\alpha$  des capacités des canaux équivalents qui interviennent pendant la seconde phase à partir de  $t_{s,i}$  jusqu'à l'intervalle de retransmission  $t-1$ . A l'intervalle de retransmission  $l \geq t_{s,i}$  de la seconde phase, un canal équivalent est considéré pour la source  $i$ . Le canal équivalent considéré à un intervalle de retransmission  $l$  regroupe les canaux entre chacun des nœuds aidant la source  $i$  pendant cet intervalle et la destination. La capacité du canal entre cette source  $i$  et la destination se déduit de la qualité du canal i.e. l'information mutuelle  $I_{i,d}$  entre la source  $i \in \{1, \dots, M\}$  et la destination  $d$ . La capacité du canal équivalent considéré lorsque la source  $i$  est aidée pendant l'intervalle  $l$  est évaluée par l'information mutuelle  $J_{i,d}(l)$  entre l'ensemble des nœuds qui aident la source  $i$  à l'intervalle de retransmission  $l$  et la destination. Cette capacité dépend du temps  $l$  puisqu'un nœud peut bénéficier des transmissions pour aider une source  $i$  pendant la 2<sup>nde</sup> phase et décodé correctement cette source  $i$  à partir d'un intervalle de retransmission de la 2<sup>nde</sup> phase alors qu'il ne l'avait pas décodée à la fin de la 1<sup>ère</sup> phase.

[0072]  $X(t)$  est défini comme le nombre d'intervalles de retransmission écoulés jusqu'à l'intervalle courant (non inclus) pendant la seconde phase depuis le dernier échange de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds.

[0073]  $X^m(t)$  définit la valeur de  $X(t)$  qui déclenche un nouvel échange de jeux de sources décodées. Par exemple  $X^m(t) = 2 \forall t \in \{1, \dots, T_{max}\}$  déclenche un échange de jeux de sources décodées pour  $t_j = 1 + 2j$  avec  $j \in \left\{ 1, \dots, \left\lfloor \frac{(T_{max}-1)}{2} \right\rfloor \right\}$ .

[0074] Par convention,  $X^m(1) = 0$  déclenche un échange de jeux de sources décodées au début de la 2<sup>nde</sup> phase de transmission.

[0075] Il est supposé qu'une source  $i$  est aidée sur un ou plusieurs intervalles de retransmission consécutifs en commençant par l'intervalle de retransmission  $t_{s,i} \in \{1, \dots, T_{max}\}$ . A chaque intervalle de retransmission (time slot)  $t \geq t_{s,i}$ , et pour la

source  $i$  sélectionnée non encore décodée correctement par la destination,  $i \in \mathcal{S}_{d,t-1}^i$ , la variable  $\hat{x}_i(t)$  est définie selon l'invention. Cette variable  $\hat{x}_i(t)$  est définie comme étant le nombre maximum (i.e. nombre suffisant) d'intervalles de retransmission pour que la destination décode cette source  $i$  (à partir et en comptant l'intervalle de retransmission  $t_s$ ), c'est à dire, la source  $i$  est décodée au plus tard à la fin de l'intervalle de retransmission  $t + \hat{x}_i(t) - 1$ . Cette variable  $\hat{x}_i(t)$  est estimée par la destination en fonction de sa connaissance de  $J_{i,d}(l)$   $l \in \{t_{s,b} \dots t_s\}$ . Soit l'ensemble  $\mathcal{S}' = \{t'_0, t'_1, \dots, t'_N\}$  déterminé par  $X^m(t)$  des intervalles de retransmission commençant par un échange de jeux de sources décodées. Soit l'ensemble  $\mathcal{S} = \{t_0, t_1, \dots, t_M\}$  des intervalles de retransmission commençant par un échange de jeux de sources décodées coïncidant avec les transmissions pour aider la source  $i$ , c'est-à-dire,  $t_{s,i} < t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_M$ .

[0076] Dans le cas où un échange de jeux de sources décodées a eu lieu avant  $t_{s,i}$ , c'est-à-dire avant le début de la sélection de la source  $i$  à aider pendant la 2<sup>nde</sup> phase, la destination connaît  $\hat{J}_{i,d}(t_{s,i}) = J_{i,d}(t_{s,i}) = J_{i,d}(1)$ . Il est à souligner qu'un échange de jeux de sources décodées au début de la 2<sup>nde</sup> phase de transmission permet à la destination de connaître  $J_{i,d}(t_{s,i})$  pour toutes les sources. En effet, les transmissions précédant  $t_{s,i}$  étant liées à une autre source elles n'impactent pas le nombre de nœuds ayant décodés la source  $i$  ni  $J_{i,d}(t_{s,i})$  pour tout  $i \in \{1, \dots, M\}$ .

[0077] Dans le cas contraire, la destination ne connaît que  $\hat{J}_{i,d}(t_{s,i}) = J_{i,d}(0) = I_{i,d}$  pour estimer  $\hat{x}_i(t)$  pour  $t_{s,i} \leq t < t_0$ . Par souci de simplicité des notations, l'indice de source  $i$  de  $t_{s,i}$  est omis quand il est évident.

[0078] Pour les intervalles de retransmission  $t_s \leq t < t_0$  l'invention considère :

[0079] 
$$y_i(t_s) = \frac{R_i I_{i,d}}{a \hat{J}_{i,d}(t_s)} \quad (2)$$

[0080] et

$$y_i(t) = \frac{y_i(t_s) (a \hat{J}_{i,d}(t_s)) - a(t-t_s) \hat{J}_{i,d}(t_s)}{a \hat{J}_{i,d}(t_s)}, \quad (3)$$

[0081] le nombre d'intervalles de retransmission suffisant estimé par la destination à partir de l'intervalle de retransmission  $t$  est :

[0082] 
$$\hat{x}_i(t) = \lceil y_i(t) \rceil \quad (4)$$

[0083] où  $\lceil q \rceil$  représente la fonction partie entière supérieure (ceiling function) qui prend la valeur entière juste supérieure ou égale à  $q$ , e.g.,  $\lceil 2.3 \rceil = 3$ .

[0084] Pour  $t = t_0$ , un échange de jeux de sources décodées a lieu, ce qui permet à la destination d'évaluer  $J_{i,d}(t_0)$ , ainsi :

[0085] 
$$y_i(t_0) = \frac{y_i(t_s) (a \hat{J}_{i,d}(t_s)) - a(t_0-t_s) \hat{J}_{i,d}(t_s)}{a \hat{J}_{i,d}(t_0)} \quad (5)$$

[0086] avec

$$[0087] \quad \hat{x}_i(t_0) = \left[ y_i(t_0) \right] \quad (6)$$

[0088] Plus généralement, pour  $t_j < t \leq t_{j+1}$   $j = 0, \dots, M-1$ , il est possible de construire récursivement  $y_i(t)$  comme :

$$[0089] \quad y_i(t) = \begin{cases} \frac{y_i(t-X(t)) (aJ_{id}(t-X(t))) - aX(t)J_{id}(t-X(t))}{aJ_{id}(t-X(t))} & t_j < t < t_{j+1} \\ \frac{y_i(t-X(t)) (aJ_{id}(t-X(t))) - aX(t)J_{id}(t-X(t))}{aJ_{id}(t)} & t = t_{j+1} \end{cases} \quad (7)$$

[0090] ou, de façon équivalente :

$$[0091] \quad y_i(t) = \begin{cases} \frac{y_i(t_j) (aJ_{id}(t_j)) - a(t-t_j)J_{id}(t_j)}{aJ_{id}(t_j)} & t_j < t < t_{j+1} \\ \frac{y_i(t_j) (aJ_{id}(t_j)) - a(t_{j+1}-t_j)J_{id}(t_j)}{aJ_{id}(t_{j+1})} & t = t_{j+1} \end{cases} \quad (8)$$

[0092] avec toujours :

$$[0093] \quad \hat{x}_i(t) = \left[ y_i(t) \right].$$

[0094] Remarque :

$$[0095] \quad \hat{x}_i(t) = \left[ \frac{y_i(t_j) (aJ_{id}(t_j)) - a(t-t_j)J_{id}(t_j)}{aJ_{id}(t_j)} \right] = \hat{x}_i(t_j) - (t-t_j) \quad t_j < t < t_{j+1} \quad (9)$$

[0096] Entre deux échanges de contrôle de décodage le nombre d'intervalles de retransmission suffisant pour décoder la source  $i$  est décrémenté à chaque transmission aidant la source  $i$ .

[0097] Pour  $t > t_M$ , il vient :

$$[0098] \quad \hat{x}_i(t) = \left[ \frac{y_i(t_M) (aJ_{id}(t_M)) - a(t-t_M)J_{id}(t_M)}{aJ_{id}(t_M)} \right] \quad (10)$$

[0099] Finalement, dans le cas où aucun échange de jeux de sources décodées est réalisé que ce soit avant ou après  $t_s$ , il vient :

$$[0100] \quad \hat{x}_i(t) = \left[ \frac{R_{i'} J_{id} - a(t-t_s) J_{id}(0)}{aJ_{id}(0)} \right] \quad \forall t \geq t_s \quad (11)$$

[0101] Dans le cas où un unique échange de jeux de sources décodées est réalisé au début de la 2<sup>nd</sup>e phase de transmission alors :

$$[0102] \quad \hat{x}_i(t) = \left[ \frac{R_{i'} J_{id} - a(t-t_s) J_{id}(1)}{aJ_{id}(1)} \right] \quad \forall t \geq t_s \quad (12)$$

[0103]  $\hat{x}_i(t)$  est le nombre d'intervalles de retransmission pour aider la source  $i$  à partir de

l'intervalle de retransmission  $t$  inclus suffisant pour le décodage sans erreur de la source  $i$  qui est estimé par la destination en fonction de sa connaissance de

$J_{id}(l) \quad \forall l \in \{t_{s,i}, \dots, t + \hat{x}_i(t) - 1\}$ . La destination utilise comme approximation de  $J_{id}(l)$  une valeur précédente (connue la plus proche)  $\hat{J}_{id}(l) = J_{id}(l')$  avec  $l' \leq l$  par

conséquent  $\hat{J}_{i,d}(l) \leq J_{i,d}(l) \forall l \in \{t_{s,i}, \dots, t + \hat{x}_i(t) - 1\}$ .

[0104] Le nombre d'intervalles de retransmission nécessaires en pratique  $x_i^q(t)$  nécessite la connaissance de  $J_{i,d}(l) \forall l \in \{t_{s,i}, \dots, t + x_i^q(t) - 1\}$ . Il est donné par la plus petite valeur de  $x$  tel que :

$$[0105] \quad R_i \leq I_{i,d} + a \sum_{l=t_{s,i}}^{t+x-1} J_{i,d}(l) \quad (13)$$

[0106] L'estimation  $\hat{x}_i(t)$  est la plus petite valeur de  $x$  tel que :

$$[0107] \quad R_i \leq I_{i,d} + a \sum_{l=t_{s,i}}^{t+\hat{x}-1} \hat{J}_{i,d}(l) \quad (14)$$

[0108] Comme  $\hat{J}_{i,d}(l) \leq J_{i,d}(l)$ , il vient que  $\hat{x}_i(t) \geq x_i^q(t)$ .

[0109] Dans le cas où  $\hat{J}_{i,d}(l) = J_{i,d}(l)$ , il vient :

$$\hat{x}_i(t) = \left\lceil \frac{R_i - a(t-t_{s,i})J_{i,d}(1)}{aJ_{i,d}(1)} \right\rceil \quad (15)$$

[0110] En effet, l'entier positif le plus petit tel que :

$$[0111] \quad x \geq \frac{R_i - a(t-t_{s,i})J_{i,d}(1)}{aJ_{i,d}(1)} \quad (16)$$

[0112] est :

$$\hat{x}_i(t) = \left\lceil \frac{R_i - a(t-t_{s,i})J_{i,d}(1)}{aJ_{i,d}(1)} \right\rceil \quad (17)$$

[0113] Ainsi, il est certain que l'événement de défaut (outage) n'intervient pas à  $t + \hat{x}_i(t) - 1$ . La source  $i$  est systématiquement décodée correctement par la destination à  $t + \hat{x}_i(t) - 1$  si elle est aidée  $\hat{x}_i(t)$  fois à partir de l'intervalle  $t$  compris.

[0114] La généralisation de cette démonstration dans le cas de plusieurs échanges de décodage est immédiate.

[0115] Il est à noter que l'évaluation du nombre d'intervalles de retransmission suffisant pour une source  $i$  est le même quel que soit  $t_{s,i}$  son intervalle de retransmission choisi pour la première transmission destinée à aider cette source durant la 2<sup>nde</sup> phase. A un intervalle de retransmission  $t$  donné,  $\hat{x}_i(t)$  ne dépend que du nombre de transmissions  $n_i = t - t_{s,i}$  aidant la source  $i$  durant la 2<sup>nde</sup> phase et avant  $t$ . Ainsi, la notation  $x_i(n_i)$  dénote le nombre nécessaire de transmissions aidant la source  $i$  connaissant le nombre de transmissions  $n_i$  ayant aidé la source  $i$  (déjà réalisées) durant la 2<sup>nde</sup> phase. Par la suite, nous dénotons  $x_i$  le compteur du nombre de transmissions restantes pour aider la source  $i$ , ce compteur étant initialisé à  $x_i(0)$  et étant décrémenté à chaque fois que la source  $i$  est aidée sans échange de décodage. Ce compteur est mis à jour à chaque échange de contrôle de décodage à l'intervalle de retransmission  $l = t_j \quad j = 0, \dots, M - 1$  qui permet de connaître  $J_{i,d}(l)$ .

[0116] Si l'estimation de  $x_i$  est telle qu'il n'y a eu aucune transmission précédente pour aider

la source  $i$  ou telle que  $x_i(0)$  repose uniquement sur la connaissance des liens directs et que pour toutes les sources  $i \in \{1, \dots, M\}$  l'inégalité suivante est satisfaite :

$$[0117] \quad T_{max} \geq \sum_{i \in \mathcal{S}_{d \rightarrow i}} x_i \quad (18)$$

[0118] alors toutes les sources peuvent être décodées sans échange de jeux de sources décodées.

[0119] Toutes les sources pouvant être décodées correctement par la destination dans le temps restant, le procédé choisi par exemple successivement les sources à aider et de manière aléatoire.

[0120] Le procédé selon l'invention est particulièrement intéressant lorsque  $T_{max} < \sum_{i \in \mathcal{S}_{d \rightarrow i}} x_i$  puisqu'il permet à la destination de décoder correctement un nombre optimal de sources en optimisant l'efficacité spectrale tout en limitant très fortement la surcharge de signalisation en effectuant la sélection de la source à aider selon une certaine stratégie.

[0121] En outre, selon l'invention  $X^m(1) = 0$  i.e. l'échange de contrôle de jeux de sources correctement décodées entre la destination et les nœuds intervient uniquement une fois et au début de la 2<sup>nd</sup>e phase.

[0122] A  $t = 1$  i.e. au début de la 2<sup>nd</sup>e phase, le procédé comprend un échange de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds. Le procédé détermine le nombre suffisant d'intervalles de retransmission pour que la destination decode la source  $i$  non encore décodée à l'issue de la 1<sup>ère</sup> phase connaissant son débit attribué  $R_i$  :

$$[0123] \quad \hat{x}_i(t) = \left\lceil \frac{R_i I_{id} - \alpha (t - t_{s,i}) \hat{J}_{id}(t_{s,i})}{\alpha \hat{J}_{id}(t_{s,i})} \right\rceil \quad \forall t \geq t_s \quad (19)$$

[0124] avec :

$$[0125] \quad \hat{x}_i(t_{s,i}) = x_i(0) = \left\lceil \frac{R_i I_{id}}{\alpha \hat{J}_{id}(t_{s,i})} \right\rceil \quad (20)$$

[0126] ou, encore avec  $n_i = t - t_{s,i}$ ,

$$[0127] \quad \hat{x}_i(t) = x_i(n_i) = \left\lceil \frac{R_i I_{id} - \alpha n_i \hat{J}_{id}(t_{s,i})}{\alpha \hat{J}_{id}(t_{s,i})} \right\rceil = x_i(0) - n_i \quad (21)$$

[0128] avec  $n_i$  le nombre de transmissions déjà réalisées pour aider la source  $i$ . Suite à l'échange de contrôle de décodage entre la destination et les nœuds à  $t = 1$ , la destination connaît  $\hat{J}_{id}(t_{s,i}) = J_{id}(t_{s,i}) = J_{id}(1)$ . Sans échange de contrôle de décodage à  $t=1$ , la destination se base sur  $\hat{J}_{id}(t_{s,i}) = J_{id}(0) = I_{i,D}$  c.a.d. sur la connaissance du lien direct entre la source  $i$  et la destination.

[0129] L'estimation du canal entre la source  $i$  et la destination est effectuée, par exemple, sur la base des signaux de référence émis par la source  $i$  lorsqu'elle transmet pendant la première phase. Comme les canaux sont supposés invariants pendant une trame, cette

valeur est indépendante de l'intervalle de transmission ou de retransmission. Cette connaissance de la qualité du canal entre la source  $i$  et la destination permet à la destination d'estimer une information mutuelle  $I_{i,d}$  représentative de cette qualité et donc de la capacité du canal.

- [0130] Lors de la seconde phase, l'estimation du canal entre le nœud  $j \in \{1, \dots, M + L\}$  et la destination est effectuée, par exemple, sur la base d'un signal de référence émis par le nœud  $j$  lors de l'échange de contrôle au cours duquel il transmet son jeu ou un sous-ensemble de ce jeu de sources décodées correctement. Cette connaissance de la qualité du canal entre le nœud  $j$  et la destination à l'intervalle  $t = 1$  permet à la destination d'estimer une information mutuelle  $J_{i,d}(1)$  représentative de la qualité du canal équivalent entre tous les nœuds ayant décodé la source  $i$  et la destination.
- [0131] Pour  $t > 1$  le procédé considère que chaque transmission conduit à une information mutuelle  $\alpha J_{i,d}(1)$  si bien que  $\hat{x}_i(t)$  diminue en fonction du nombre de transmissions effectuées pour aider la source  $i$ .
- [0132] La destination sélectionne, selon l'invention, pour chaque intervalle de retransmission  $t$  la source  $i$  à aider.
- [0133] A chaque intervalle de retransmission  $t$  et avant sélection, le nombre restant d'intervalles de retransmission  $T_{av}$  est :  $T_{av} = T_{max} - T_{used}$ . A  $t = 0$ ,  $T_{used} = 0$ .
- [0134] La sélection est déterminée pour maximiser l'efficacité spectrale. La maximisation de l'efficacité spectrale peut s'exprimer sous la forme de la détermination du sous-ensemble  $\hat{A}$  pris parmi l'ensemble  $P(\mathcal{S}_{d,t-1})$  des sous-ensembles  $A$  possibles de sources pas encore décodées correctement par la destination à l'intervalle précédent l'intervalle courant  $t$  conduisant à la plus grande somme des débits des sources et tel que les sources de ce sous-ensemble  $\hat{A}$  puissent être décodées dans le temps restant,  $T_{av}$  i.e. tel que le temps restant est supérieur ou égal à la somme du nombre d'intervalles de retransmission suffisant pour décoder chacune des sources de ce sous-ensemble  $\hat{A}$  :
- [0135]  $\hat{A} = \underset{A \in P(\mathcal{S}_{d,t-1})}{\operatorname{argmax}} \times \sum_{i \in A} R_i$  tel que  $\sum_{i \in A} x_i \leq T_{av}$ . (22)
- [0136]  $P(\mathcal{S}_{d,t-1})$  est appelé le jeu de puissance de  $\mathcal{S}_{d,t-1}$ .
- [0137] Le procédé considère alors successivement chaque source  $i$  de ce sous-ensemble  $\hat{A}$ .
- [0138] Pour chaque source  $i$  considérée de  $\hat{A}$ , la destination transmet aux nœuds l'indication de la sélection de la source  $i$  à l'intervalle de retransmission  $t$ .
- [0139] Les nœuds ayant correctement décodé cette source  $i$  transmettent une même redondance pendant cet intervalle  $t$  pour aider le décodage de la source  $i$  par la destination.
- [0140] La destination réitère la transmission de l'indication de la sélection de la même source  $i$  jusqu'à ce que la destination décode correctement cette source. Le nombre d'intervalles de retransmission écoulés avant le décodage correct est au maximum égal

à  $x_i^l(0)$ .

- [0141] Selon un mode de réalisation particulièrement efficace, si la destination décode correctement la source  $i$  avant l'écoulement du nombre  $x_i^l(0)$  d'intervalles de retransmission, elle recalcule le meilleur sous-ensemble  $\hat{A}$  si et seulement si l'ensemble  $\hat{A}$  auquel est retiré la source  $i$  ne contient pas toutes les sources non décodées par la destination sinon la destination passe à une autre source du sous ensemble  $\hat{A}$  auquel la source  $i$  a été retirée préalablement. Ce cas peut apparaître lorsque le jeu des sources correctement décodé par un nœud change pour inclure la source  $i$  au cours des  $x_i^l(0)$  intervalles de retransmission. Ainsi, ce nœud devient actif lors de la transmission à l'intervalle  $l$  d'une redondance pour la source  $i$  ce qui entraîne une augmentation de l'information mutuelle  $J_{i,d}(l) > J_{i,d}(1)$ . Si la source  $i$  est décodée après exactement  $x_i^l(0)$  intervalles de retransmission alors la destination passe à une autre source du sous ensemble  $\hat{A}$  auquel la source  $i$  a été retirée préalablement.

### Exemple de mise en œuvre

- [0142] La description d'un mode de réalisation de l'invention qui suit est illustrée avec une mise en œuvre par un système OMARC à  $M = 4$  sources,  $S = \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $L = 3$  relais,  $R = \{5, 6, 7\}$ , et une destination. Le paramètre  $T_{max}$  est fixé à 8.
- [0143] A la fin de la 1<sup>ère</sup> phase, i.e.,  $t = 0$ , les jeux des sources correctement décodées par les nœuds sont les suivants :
- [0144]  $S_{1,0} = \{1\}$ ,  $S_{2,0} = \{2\}$ ,  $S_{3,0} = \{3\}$ ,  $S_{4,0} = \{4\}$ ,  $S_{5,0} = \{2, 3\}$ ,  $S_{6,0} = \{1, 2, 3\}$ ,  $S_{7,0} = \emptyset$ ,  $S_{d,0} = \emptyset$ .
- [0145] Dit autrement, les sources 1, 2, 3, 4 et le relais 7 n'ont encore rien décodé correctement à l'issue de la 1<sup>ère</sup> phase mais comme une source connaît son propre message son jeu contient au moins ce message. Le relais 5 a correctement décodé les sources 2 et 3 et le relais 6 a correctement décodé les sources 1, 2 et 3 à l'issue de la 1<sup>ère</sup> phase. La destination  $d$  n'a encore rien décodé correctement et  $\tilde{S}_{d,0} \neq \emptyset$  à l'issue de la 1<sup>ère</sup> phase.
- [0146] Pendant la 2<sup>nde</sup> phase, la détermination par la destination de l'ensemble des sources  $\hat{A}$  à aider se déroule par exemple selon l'algorithme de l'Annexe A.
- [0147] Pendant la 2<sup>nde</sup> phase, la sélection de la source  $i$  à aider parmi l'ensemble  $\hat{A}$  à chaque intervalle de retransmission se déroule par exemple selon l'algorithme de l'Annexe B qui peut être utilisé puisque  $\tilde{S}_{d,0} \neq \emptyset$ .
- [0148] Déroulement de l'Algorithme de l'Annexe B :
- [0149] Etape 2. La destination détermine l'estimation du nombre d'intervalles nécessaires  $x_i$  pour que la destination décode une source  $i$  non encore décodée sur la base d'une connaissance d'une information mutuelle du lien source  $i$  destination et d'un débit  $R_i$  attribué à cette source  $i$ . La destination calcule donc  $x_i$  pour tout  $i \in \tilde{S}_{d,0}$ .

- [0150] Pour cet exemple, les variables  $x_i$  ont les valeurs suivantes connaissant les liens directs sources-destination :
- [0151]  $x_1 = 6, x_2 = 2, x_3 = 3, x_4 = 12$
- [0152] Les débits  $R_i$  ont les valeurs suivantes :
- [0153]  $R_1 = 1, R_2 = 2, R_3 = 3, R_4 = 4$
- [0154] Etape 3. La somme des  $x_i$  dépasse le temps restant :  
 $6 + 2 + 3 + 12 = 23 > T_{av} = T_{max} = 8$
- [0155] Etape 4. Un unique échange de contrôle de décodage intervient entre la destination et les nœuds.
- [0156] Au cours de cet échange les nœuds transmettent leur jeu de sources correctement décodées ou uniquement leur jeu de sources correctement décodées mais pas encore correctement décodées par la destination.
- [0157] Etape 5. Pour une source  $i$  non encore décodée par la destination, la destination met à jour l'estimation du  $x_i$  en utilisant la qualité du canal équivalent considéré comme étant l'agrégation des canaux entre les nœuds ayant correctement décodé cette source et la destination.
- [0158] Selon l'exemple, connaissant les liens nœuds-destination, les variables  $x_i$  deviennent :
- [0159]  $x_1 = 6, x_2 = 1, x_3 = 3, x_4 = 12$
- [0160] Bien que  $x_2$  ait diminué, la somme des  $x_i$  :  $6 + 1 + 3 + 12 = 22$  reste supérieure au temps restant  $T_{av} = T_{max} = 8$ .
- [0161] Etape 7. L'ensemble des sources  $\hat{A}$  à aider à la fin de la 1<sup>ère</sup> phase est déterminé, selon l'algorithme de l'annexe A, par la destination connaissant les  $x_i$  et les débits  $R_i$  attribués aux sources.
- [0162] Selon l'exemple, les choix possibles pour  $\hat{A}$  qui satisfont  $\sum_{i \in \hat{A}} x_i \leq T_{av}$  sont :  $\{1\}$ ,  $\{2\}$ ,  $\{3\}$ ,  $\{1, 2\}$ ,  $\{1, 3\}$ ,  $\{2, 3\}$ . L'ensemble qui conduit à la somme maximum des débits et qui est déterminé selon l'algorithme de l'annexe A est  $\hat{A} = \{2, 3\}$ .
- [0163] Etape 8. Le procédé décode la trame tant que  $t < T_{max}$  et qu'il reste une source  $i$  à décoder dans l'ensemble  $\hat{A}$  i.e.  $\hat{A} \neq \emptyset$ .
- [0164] Selon l'exemple  $\hat{A} = \{2, 3\}$ .
- [0165] Etape 9. A l'intervalle de retransmission  $l$ , la destination sélectionne la source  $i$  avec le plus petit  $x_i$ .
- [0166] Selon l'exemple, la destination sélectionne d'abord la source 2.
- [0167] Etape 10. Le procédé répète les étapes 11-20 tant que la source  $i$  n'est pas correctement décodée par la destination.
- [0168] Selon l'exemple, la destination répète pour la source 2 jusqu'à ce qu'elle l'ait correctement décodée puis répète pour la source 3.

- [0169] Etape 11. A chaque intervalle de retransmission  $t$  la destination remonte le numéro de la source  $i$  à aider par les nœuds.
- [0170] Selon l'exemple, la destination remonte d'abord le numéro 2 tant que celle-ci n'est pas correctement décodée puis le numéro 3 tant que celle-ci n'est pas correctement décodée.
- [0171] Etape 12. Le procédé incrémente la valeur de l'intervalle de retransmission courant,  $t \leftarrow t + 1$ , décrémente le temps restant,  $T_{av} \leftarrow T_{av} - 1$  et décrémente la valeur de  $x_i$  puisque  $i$  a été aidée une fois par les nœuds.
- [0172] Selon l'exemple, pour la source  $i = 2$ , au premier passage,  $x_i = 0$  puisque  $x_2 = 1$  et l'intervalle courant devient  $t = 2$ , et  $T_{av} = 7$
- [0173] Pour la source  $i = 3$ , au premier passage,  $x_i = 2$  puisque  $x_3 = 3$  et l'intervalle courant devient  $t = 3$  et  $T_{av} = 6$ .
- [0174] Pour la source  $i = 3$ , au deuxième passage,  $x_i = 1$  et l'intervalle courant devient  $t = 4$  et  $T_{av} = 5$ .
- [0175] Etape 13. Si la destination a décodé correctement la source  $i$  à l'intervalle courant alors dérouler les étapes 14-18.
- [0176] Selon l'exemple, la source  $i = 2$  est correctement décodée en un seul intervalle de retransmission puisque  $x_2 = 1$ .  $S_{d,1} = \{2\}$ .
- [0177] Pour la source  $i = 3$ , le procédé reboucle à l'étape 11 après un intervalle de retransmission.  $S_{d,2} = \{2\}$ . Après un deuxième intervalle de retransmission, la source  $i = 3$  est correctement décodée.  $S_{d,3} = \{2,3\}$ .
- [0178] Etape 14. La source  $i$  correctement décodée par la destination est supprimée de l'ensemble  $\hat{A}$ .
- [0179] Selon l'exemple, au début du 2<sup>e</sup> intervalle de retransmission,  $\hat{A} = \hat{A} \setminus \{2\} = \{3\}$ .
- [0180] A la fin du 2<sup>e</sup> intervalle de retransmission,  $\hat{A}$  est inchangé :  $\hat{A} = \{3\}$ .
- [0181] A la fin du 3<sup>e</sup> intervalle de retransmission,  $\hat{A} = \hat{A} \setminus \{3\} = \emptyset$ .
- [0182] Etape 15. Si les  $x_i$  intervalles n'ont pas été consommés et que l'ensemble  $\hat{A}$  ne contenait pas toutes les sources non décodées correctement par la destination (lors de la détermination de  $\hat{A}$  la somme des  $x_i$  dépassait le temps restant) alors le procédé déroule les étapes 16-17.
- [0183] Selon l'exemple, pour la source  $i = 2$ ,  $x_2 = 1 - 1 = 0$  donc la condition  $x_i > 0$  n'est pas remplie bien que la condition  $\hat{A} = \{3\} \neq S_{d,1} = \{1,3,4\}$  soit remplie, le procédé passe à l'étape 19, i.e. le procédé reprend les étapes 10-18 pour la source  $i = 3$ .
- [0184] Pour la source  $i = 3$  elle est correctement décodée selon l'exemple au bout de deux intervalles de retransmission  $x_3 = 3 - 2 = 1$ . Comme  $x_i > 0$  et  $\hat{A} = \emptyset \neq S_{d,4} = \{1,4\}$

alors le procédé met à jour l'ensemble  $\hat{A}$  selon l'étape 16.

[0185] Etape 16. Le procédé détermine l'ensemble  $\hat{A}$  selon l'algorithme de l'Annexe A avec le jeu à jour des sources non décodées correctement par la destination.

[0186] Selon l'exemple, après le décodage correct de la source  $i = 3$  il est fait appel à l'algorithme de l'annexe A avec  $(5, \tilde{S}_{d,4})$  pour mettre à jour  $\hat{A}$ .

[0187] Selon l'algorithme de l'annexe A puisque  $\sum x_i = 6 + 12 = 18 > 5$  et que  $x_1 = 6 > 5$  et que  $x_4 = 12 > 5$  alors  $\hat{A} = \emptyset$ .

[0188] Etape 20. Le procédé reboucle à l'étape 8 avec  $\hat{A}$  mis à jour.

[0189] Selon l'exemple,  $\hat{A} = \emptyset$  i.e. aucune autre source ne peut être décodée dans le temps restant. La transmission de la trame est interrompue, il y a un défaut de décodage (outage event) des sources 1 et 4. Le procédé passe à la transmission de la trame suivante.

[0190] Selon un autre mode de réalisation, la sélection d'une source à l'étape 9 peut se faire de manière aléatoire parmi les sources de l'ensemble  $\hat{A}$ .

[0191] Annexe A

[0192] Détermination de l'ensemble  $\hat{A}$  des sources pouvant être aidées :

[0193] [Tableaux1]

**Calcul de  $\hat{A} \# 1(T_{av}, \tilde{S}_d)$**

1. **si**  $(\tilde{S}_d = \emptyset)$  alors

2.  $\hat{A} = \emptyset$

S'il n'y a plus de source à décoder  $\hat{A}$  est le jeu vide

3. **sinon si**  $(T_{av} > \sum_i^M x_i 1_{\{i \in \tilde{S}_d\}})$

4.  $\hat{A} \leftarrow \tilde{S}_d$

S'il y a assez d'intervalles (rounds) restants de re-transmission alors  $\hat{A}$  comprend tout le jeu de sources non décodées par la destination

5. **sinon**

6.  $\hat{A} \leftarrow \operatorname{argmax}_{A \in P(\tilde{S}_d)} \sum_{i \in A} R_i$   
tel que  $\sum_{i \in A} x_i \leq T_{av}$ )

Si non  $\hat{A}$  comprend le jeu avec la somme des débits la plus élevée et satisfaisant la condition du nombre d'intervalles restants de retransmission

7. **Fin si**

[0194] Annexe B

[0195] Algorithme de stratégie de sélection :

[0196] [Tableaux2]

- |     |  |   |
|-----|--|---|
| 1.  | $t \leftarrow 0 ; T_{av} \leftarrow T_{max}$                                       | Fin de la 1ère phase de transmission i.e. $t$ est initialisé à 0, initialisation du nombre restant $T_{av}$ d'intervalles de retransmission à $T_{max}$                       |
| 2.  | Calcule $x_i$ pour tout $i \in \tilde{S}_{d,0}$<br>$t \leftarrow 1$                | $x_i(0)$ est estimé sur la base des liens directs source-destination à la fin de la 1ère phase.   |
| 3.  | <b>Si</b> $(T_{av} < \sum_i^M x_i 1_{\{i \in \tilde{S}_{d,0}\}})$ <b>alors</b>     | Début de la 2 <sup>nde</sup> phase de transmission i.e. $t$ est initialisé à 1<br>Si pas assez d'intervalles (rounds) de retransmission pour décoder toutes les sources alors |
| 4.  | Les nœuds relais envoient leur jeu de sources correctement décodées, $S_{a,t}$     | La destination requiert un échange de contrôle  |
| 5.  | mise à jour de $x_i$ pour tout $i \in \tilde{S}_{d,1}$                             | $x_i(0)$ est estimé sur la base du canal équivalent nœuds-destination   |
| 6.  | <b>Fin de si</b>   |   |
| 7.  | <b>Calcule</b> $\hat{A} \# 1(T_{av}, \tilde{S}_{d,1})$                             | Détermination de l'ensemble $\hat{A}$ au début de la 2 <sup>nde</sup> phase selon l'annexe A  |
| 8.  | <b>Tant que</b> $(t < T_{max}$ et $\hat{A} \neq \phi)$ <b>faire</b>                | Le décodage de la trame est arrêté à $T_{max}$ ou quand $\hat{A}$ est le jeu vide   |
| 9.  | Sélection de la source<br>$i \leftarrow \operatorname{argmin}_{i \in \hat{A}} x_i$ | La destination sélectionne dans le jeu $\hat{A}$ la source $i$ avec le plus petit $x_i$   |
| 10. | <b>Tant que</b> $(i \notin \tilde{S}_{d,t})$ <b>faire</b>                          | La destination décode la source $i$ tant qu'elle ne l'a pas décodée correctement  |
| 11. | La destination requiert que les nœuds relais aident la source $i$                  | Les nœuds relais ayant correctement décodé la source $i$ transmettent en parallèle la même redondance   |
| 12. | $t \leftarrow t + 1 ; T_{av} \leftarrow T_{av} - 1 ;$                              | Incrémentation du round courant $t$ ;   |

- |     |  |  |
|-----|--|--|
|     | $x_i \leftarrow x_i - 1;$  | décrémentation du nombre de rounds restant ; décrémentation de $x_i$ puisque $i$ a été aidée une fois  |
| 13. | <b>si</b> ( $i \in S_{d,t}$ ) <b>alors</b>                           | si $i$ est décodée à la fin du round $t$ alors   |
| 14. | $\hat{A} \leftarrow \hat{A} \setminus \{i\}$                         | supprime $i$ de $\hat{A}$  |
| 15. | <b>si</b> ( $x_i > 0$ et $\hat{A} \neq \bar{S}_{d,t}$ ) <b>alors</b> | Si $i$ a été décodé avant l'expiration de $x_i$ et que l'ensemble $\hat{A}$ est différent des sources non encore décodées par la destination alors |
| 16. | <b>Calcule</b> $\hat{A} \# 1(T_{a,s}, \bar{S}_{d,t})$                | recalcule de $\hat{A}$ avec un jeu $\bar{S}_{d,t}$ à jour  |
| 17. | <b>Fin de si</b>   |  |
| 18. | <b>Fin de si</b>   |  |
| 19. | <b>Fin de tant que</b>   |  |
| 20. | <b>Fin de tant que</b>   |  |

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé de transmission d'une trame transportant des messages destiné à un système de télécommunication OMAMRC à  $N$  nœuds dont  $M$  sources  $s_i \in \{1, \dots, M\}$  et une destination ( $d$ ),  $N \geq M \geq 2$ , les nœuds fonctionnant en mode half-duplex, selon un schéma d'accès multiple orthogonal du canal de transmission entre les  $N$  nœuds avec un nombre maximum de  $M + T_{max}$  intervalles de temps par trame transmise répartis entre une 1<sup>ère</sup> phase et une 2<sup>nde</sup> phase,  $1 \leq T_{max}$ , le message d'une source ayant été codé avant transmission selon un codage de type à redondance incrémental qui génère plusieurs redondances, la 1<sup>ère</sup> phase comprend  $M$  intervalles alloués respectivement aux transmissions successives des  $M$  sources et la 2<sup>nde</sup> phase comprend au moins un intervalle de retransmission pour une transmission de nœuds ayant décodés correctement une même source  $s_i$  telle que ces nœuds transmettent simultanément pendant le même intervalle de retransmission la même redondance du message d'une même source non encore correctement décodée par la destination, dite source à aider, le procédé est tel qu'il comprend :

- une unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination, ces transmissions permettant à la destination de déterminer, pour chacune de ces sources, une qualité d'un canal équivalent basée sur une qualité des canaux entre les nœuds ayant correctement décodés cette source et la destination,
- une estimation d'un nombre d'intervalles de retransmission suffisant ( $x_i(0)$ ) pour que la destination decode une source ( $s_i$ ) non encore correctement décodée et correctement décodées par au moins un nœud sur la base de la qualité d'un canal équivalent pour cette source entre ce au moins un nœud et la destination et d'un débit ( $R_i$ ) attribué à cette source ( $s_i$ ),
- une sélection par la destination des sources à aider en tenant compte des nombres ( $x_i(0)$ ) estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour que la destination decode les sources non encore correctement décodées et d'une somme de débits ( $R_i$ ) attribués aux sources.

- [Revendication 2] Procédé de transmission selon la revendication 1, tel que l'unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination est réalisée au début de la 2<sup>nd</sup>e phase.
- [Revendication 3] Procédé de transmission selon l'une des revendications 1 et 2, comprenant en outre une comparaison entre une somme de nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour aider la destination à décoder des sources non encore correctement décodées et un nombre d'intervalles de temps restant pendant la 2<sup>nd</sup>e phase pour aider la destination à décoder correctement une ou plusieurs sources.
- [Revendication 4] Procédé de transmission selon la revendication précédente tel que la comparaison est mise à jour après le décodage correct d'une source par la destination.
- [Revendication 5] Procédé de transmission selon l'une des revendications 1-4 tel que l'unique transmission par les nœuds d'au moins leur jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination fait partie d'un échange de contrôle au cours duquel la source transmet son jeu de sources correctement décodées.
- [Revendication 6] Procédé de transmission selon la revendication 5 tel qu'au cours de l'échange, un nœud envoie uniquement son jeu de sources correctement décodées et non encore correctement décodées par la destination.
- [Revendication 7] Procédé de transmission selon la revendication 5 tel qu'au cours de l'échange, un nœud envoie son jeu de sources correctement décodées.
- [Revendication 8] Procédé de transmission selon l'une des revendications 1-7, comprenant en outre une comparaison entre les nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant pour que la sélection tienne compte d'un ordonnancement de ces nombres estimés d'intervalles de retransmission suffisant.
- [Revendication 9] Procédé de transmission selon l'une des revendications 1-7, comprenant en outre une détermination d'un ensemble de sources pouvant être aidées tenant compte des nombres  $(x_i(0))$  estimés d'intervalles de retransmission suffisant et d'un temps restant avant la fin de la 2<sup>nd</sup>e phase et tel que la sélection des sources à aider se fait de manière aléatoire parmi l'ensemble des sources pouvant être aidées.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9 tel que, si aucune source ne peut être aidée dans le temps restant avant la fin de la 2<sup>nd</sup>e phase alors la

transmission de la trame est interrompue avant l'utilisation du nombre maximal d'intervalles de retransmission suffisant ( $T_{used} < T_{max}$ ).

[Revendication 11]

Systeme comprenant  $N$  nœuds dont  $M$  sources  $s_i \in \{1, \dots, M\}$  et une destination ( $d$ ),  $N \geq M \geq 2$ , pour une mise en œuvre d'un procédé de transmission selon l'une des revendications 1 à 10.

[Fig. 1]

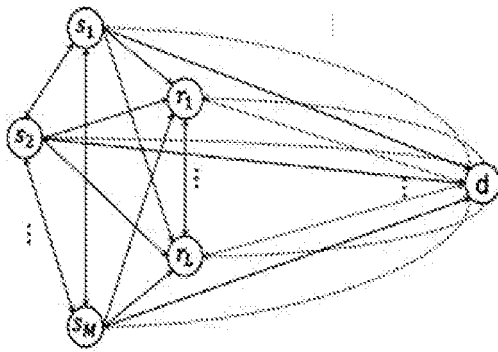
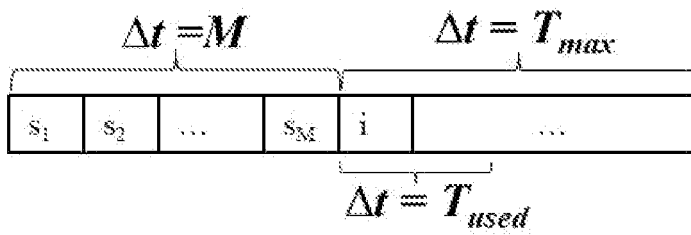
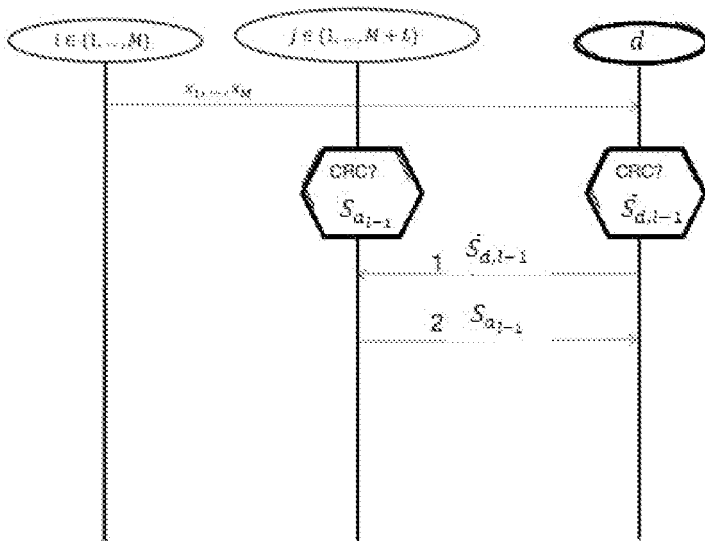


Fig. 1

[Fig. 2]



[Fig. 3]



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 917324**  
**FR 2206443**

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
<b>X</b>	<p><b>AL KHANSA ALI ET AL: "Fast Link Adaptation with Partial Channel State Information for Orthogonal Multiple Access Multiple Relay Channel (OMAMRC)", 2021 IEEE 3RD INTERNATIONAL MULTIDISCIPLINARY CONFERENCE ON ENGINEERING TECHNOLOGY (IMCET), IEEE, 8 décembre 2021 (2021-12-08), pages 11-16, XP033999723, DOI: 10.1109/IMCET53404.2021.9665572 [extrait le 2021-12-29]</b></p> <p><b>* le document en entier *</b></p> <p>-----</p>	<b>1-11</b>	<p><b>H04L5/00</b> <b>H04L1/12</b> <b>H04L1/004</b> <b>H04L49/113</b> <b>H04L49/552</b></p>
<b>A</b>	<p><b>WO 2019/180395 A1 (ORANGE [FR])</b> <b>26 septembre 2019 (2019-09-26)</b></p> <p><b>* abrégé *</b></p> <p><b>* page 2, ligne 27 - page 7, ligne 19 *</b></p> <p>-----</p>	<b>1-11</b>	<p><b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)</b></p> <p><b>H04L</b></p>
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
<b>28 juin 2023</b>		<b>Toumpoulidis, T</b>	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		<p>T : théorie ou principe à la base de l'invention  E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.  D : cité dans la demande  L : cité pour d'autres raisons  .....  &amp; : membre de la même famille, document correspondant</p>	
<p>X : particulièrement pertinent à lui seul  Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie  A : arrière-plan technologique  O : divulgation non-écrite  P : document intercalaire</p>			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2206443 FA 917324**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **28-06-2023**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
<b>WO 2019180395 A1</b>	<b>26-09-2019</b>	<b>EP 3769451 A1</b>	<b>27-01-2021</b>
		<b>FR 3079378 A1</b>	<b>27-09-2019</b>
		<b>US 2021021375 A1</b>	<b>21-01-2021</b>
		<b>WO 2019180395 A1</b>	<b>26-09-2019</b>
-----			