

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 095 094

②1 N° d'enregistrement national : **19 03803**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 04 B 7/005 (2019.01), H 03 M 13/05, 13/47, H 04 L 12/885**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 09.04.19.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de mise à la disposition du public de la demande : 16.10.20 Bulletin 20/42.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *Institut Mines-Télécom Etablissement public — FR.*

⑦② Inventeur(s) : KAMEL Sarah et WIGGER Michèle.

⑦③ Titulaire(s) : Institut Mines-Télécom Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : GEVERS & ORES.

⑤④ **PROCEDES DE MULTI-DIFFUSION ET D'OBTENTION DE CONTENUS NUMERIQUES DANS UN RESEAU, DISPOSITIF ET SYSTEME ASSOCIES.**

⑤⑦ L'invention concerne un procédé de multidiffusion et un procédé d'obtention de fragments de fichiers manquants à une pluralité de récepteurs de manière à optimiser les débits et temps de transmission à travers un réseau de communication. Les fragments de fichiers manquants pour chaque récepteur sont regroupés ou répartis en blocs en tenant compte de la capacité de décodage de chaque récepteur puis combinés par addition binaire (XOR) et codés par application d'un code polaire avant d'être émis sur le canal de transmission. En réception, les récepteurs disposant d'une mémoire cache font usage des données contenues dans leur mémoire de manière à déterminer des bits gelés (frozen bits) utilisés pour décoder les bits reçus.

Figure pour l' abrégé g é: Figure 2.

FR 3 095 094 - A1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDES DE MULTI-DIFFUSION ET D'OBTENTION DE CONTENUS NUMÉRIQUES DANS UN RESEAU, DISPOSITIF ET SYSTEME ASSOCIES

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention se situe dans le domaine des communications numériques et concerne plus particulièrement une technique de codage et de décodage pour la transmission de données numériques à une pluralité de récepteurs dans un réseau de communication.
- [0002] Elle trouve une application privilégiée pour la multidiffusion (*multicast* en anglais) de contenus numériques, en particulier dans des réseaux radio-mobiles de type 4G ou 5G.
- [0003] Par la suite, on désignera de manière générale par *contenu numérique* toute séquence d'éléments binaires sélectionnés parmi l'ensemble $\{0, 1\}$. Cette séquence est généralement structurée sous la forme de fichiers ou de fragments de fichiers selon un format donné (*e.g.* mpeg, mp4, jpeg, *etc.*). De préférence, la nature des contenus numériques est de type audio et/ou vidéo.
- [0004] Par la suite, on désignera de manière générale par *récepteur* tout type de nœud du réseau adapté à communiquer avec d'autres nœuds du réseau et destiné à recevoir des contenus numériques d'un ou plusieurs nœuds du réseau (*i.e.* nœud source ou serveur). Un récepteur peut être constitué par un terminal d'un utilisateur, tel qu'une tablette, un téléphone portable, un ordinateur ou tout autre objet connecté au réseau de communication.

Arrière-plan technique

Stockage préalable (caching, prefetching)

- [0005] Pour diffuser efficacement des contenus numériques à une pluralité de récepteurs dans un réseau de communication, il est connu de stocker temporairement tout ou partie de ces contenus dans des mémoires temporaires dites mémoires caches des récepteurs. Cette opération de stockage est connue sous le nom de *caching* en anglais.
- [0006] Par la suite, on désignera par *mémoire cache* ou antémémoire, toute mémoire destinée à stocker temporairement tout type de données numériques, tels que des fichiers ou fragments de fichiers de données.
- [0007] De manière connue, les mémoires caches sont utilisées pour stocker préalablement, au plus près des utilisateurs, des fichiers populaires (*i.e.* susceptibles d'être demandés ultérieurement par ces utilisateurs).
- [0008] Par anticipation, les contenus numériques sont avantageusement stockés dans les

mémoires caches d'une pluralité de récepteurs, de préférence lorsque le trafic est minimal au sein du réseau, de manière à limiter les risques de saturation du réseau pendant des périodes de pointe (*i.e.* lorsque le réseau est fortement sollicité).

- [0009] Dans la mesure où une partie des contenus numériques a été préalablement stockée localement au niveau des récepteurs, il ne reste qu'à transmettre les contenus numériques manquants de chacun des fichiers requis par les utilisateurs au moment où ceux-ci souhaitent disposer de l'intégralité de ces fichiers.
- [0010] Par la suite, cette étape de transmission des contenus numériques manquants sera désignée par étape de *livraison* (*i.e. delivery* en anglais). Cette étape est exécutée en réponse à une requête d'un utilisateur émise à partir d'un terminal (*e.g.* téléphone portable) et à n'importe quel moment, par exemple pendant une période où le trafic est relativement élevé à travers le réseau.
- [0011] Cette étape de stockage préalable dite *pré-stockage* est mise en œuvre au moyen d'algorithmes intelligents de pré-extraction de données connus adaptés à aller chercher par anticipation (*prefetching* en anglais) auprès d'un ou plusieurs nœuds sources, des fragments de fichiers à stocker dans les mémoires caches des récepteurs avant de recevoir une requête d'un utilisateur pour l'obtention des fragments manquants.
- [0012] Ces algorithmes, qualifiés de *prefetching* en anglais, sont tels que ceux décrits, par exemple, par M.A. Maddah-Ali et U. Niesen dans un article intitulé "*Fundamental limits of caching*", publié dans *IEEE Transactions on Information Theory*, 2014. Ce type d'algorithme se distingue notamment en ce qu'il permet de diversifier les contenus numériques pré-stockés à travers les terminaux (*e.g.* tablettes, téléphones portables, ordinateurs) d'utilisateurs ou de groupes d'utilisateurs, tout en augmentant considérablement les gains en termes de débit ou de temps de transmission en comparaison avec les algorithmes de *prefetching* traditionnels, selon lesquels tous les récepteurs obtiennent dans leur mémoires caches un même contenu numérique.
- [0013] La présente invention concerne plus particulièrement la phase de livraison, lors de laquelle les utilisateurs des récepteurs R_i requièrent les fichiers W_i , en supposant que leurs mémoires caches respectives ont déjà été préalablement alimentées en fragments de fichiers par au moins un nœud source T, lors de l'étape de *prefetching* exécutée selon un algorithme connu.
- [0014] Autrement dit, dans le cadre de la présente invention, on fait l'hypothèse qu'il existe au sein du réseau plusieurs récepteurs R_i comprenant chacun une mémoire cache M_i , dans laquelle ont été préalablement stockés des fragments de fichiers W_i^j .

Combinaison de fragments de fichiers : X-OR

- [0015] Afin d'optimiser le nombre de paquets de données transmis dans le réseau, il est connu de combiner au sein d'un même paquet de données plusieurs fragments de fichiers destinés respectivement à différents récepteurs, ce même paquet étant transmis

à l'ensemble des récepteurs requérant les fragments manquants d'un même fichier.

- [0016] De manière classique, la combinaison des fragments de fichiers consiste en une addition binaire de l'ensemble des fragments à transmettre, en utilisant l'opérateur logique OU exclusif (X-OR : *eXclusive OR* en anglais) désigné par le symbole \oplus . L'application cet opérateur X-OR constitue une opération de codage.
- [0017] Selon le scénario de l'art antérieur illustré à la **figure 1**, on suppose que, lors de l'étape préalable de *caching* ou *prefetching*, un émetteur T (ou nœud source), tel qu'une station de base radio-mobile 4G ou 5G, a découpé les fichiers W_1, W_2, W_3 en une pluralité de p fragments (*e.g.* $p=3$) notés respectivement $\{W_1^1, W_1^2, W_1^3\}, \{W_2^1, W_2^2, W_2^3\}, \{W_3^1, W_3^2, W_3^3\}$ et distribué certains de ces fragments de fichiers dans les mémoires caches M_1, M_2, M_3 respectives de trois récepteurs R_1, R_2, R_3 . Chaque fragment de fichier est noté W_k^l , où le sous-indice k désigne le $k^{\text{ème}}$ récepteur R_k et le sur-indice l identifie un fragment parmi l'ensemble de p fragments du fichier W_k résultant du découpage de ce fichier.
- [0018] Par exemple, on suppose que les fragments de sur-indice $l=1$ (*i.e.* W_1^1, W_2^1, W_3^1) sont envoyés aux récepteurs R_1 et R_2 , que les fragments de sur-indice $l=2$ (*i.e.* W_1^2, W_2^2, W_3^2) sont envoyés aux récepteurs R_2 et R_3 et que les fragments de sur-indice $l=3$ (*i.e.* W_1^3, W_2^3, W_3^3) sont envoyés aux récepteurs R_1 et R_3 .
- [0019] A cet effet, chacun des trois récepteurs R_1, R_2, R_3 émet préalablement une requête à destination du nœud source T pour requérir la connaissance complète d'un fichier particulier, *e.g.* W_1, W_2, W_3 respectivement.
- [0020] Par exemple, le premier récepteur R_1 requiert le fichier complet W_1 (*i.e.* le fragment manquant W_1^2), le deuxième récepteur R_2 requiert le fichier complet W_2 (*i.e.* le fragment manquant W_2^3) et le troisième récepteur R_3 requiert le fichier complet W_3 (*i.e.* le fragment manquant W_3^1). Ainsi, l'envoi, par le nœud source T, d'un unique paquet contenant la combinaison des fragments de fichiers manquants W_1^2, W_2^3, W_3^1 notée $W_1^2 \oplus W_2^3 \oplus W_3^1$ permet simultanément :
- [0021] au premier récepteur R_1 disposant préalablement dans sa mémoire cache M_1 des fragments $\{W_1^1, W_2^1, W_3^1; W_1^3, W_1^3, W_1^3\}$ d'obtenir, à partir de ces fragments et de ladite combinaison, le fragment manquant W_1^2 et ainsi reconstituer le fichier W_1 dans son intégralité ($W_1^1 | W_1^2 | W_1^3$);
- [0022] au deuxième récepteur R_2 disposant préalablement dans sa mémoire cache M_2 des fragments $\{W_1^1, W_2^1, W_3^1; W_1^2, W_2^2, W_3^2\}$ d'obtenir, à partir de ces fragments et de ladite combinaison, le fragment manquant W_2^3 et ainsi reconstituer le fichier W_2 dans son intégralité ($W_2^1 | W_2^2 | W_2^3$); et
- [0023] au troisième récepteur R_3 disposant préalablement dans sa mémoire cache M_3 des fragments $\{W_1^2, W_2^2, W_3^2; W_1^3, W_2^3, W_3^3\}$ d'obtenir, à partir de ces fragments et de ladite combinaison, le fragment manquant W_3^1 et ainsi reconstituer le fichier W_3 dans

son intégralité ($W_3^1 | W_3^2 | W_3^3$).

- [0024] Cette technique de multidiffusion codée, communément désignée *coded multicasting* en anglais, a été décrite, par exemple, par M. A. Maddah-Ali et U. Niesen, dans leur article intitulé "*Fundamental limits of caching*" et publié dans la revue *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 60, no. 5, pp. 2856-2867, May 2014. Dans les prototypes actuels, l'application de l'opérateur X-OR permet, lors de l'étape de livraison, de combiner des fragments de contenus numériques pour offrir la possibilité de multidiffusion (*i.e.* envoi d'une même séquence de bits utiles à plusieurs récepteurs). Toutefois, les inventrices ont démontré, lors de leurs travaux, que ces prototypes présentent des limitations en termes de performances de transmission, (débits faibles ou temps de transmission relativement élevé). Les inventrices ont identifié que cet inconvénient est principalement dû au fait que la façon dont les fragments de fichiers sont combinés ne tient pas compte de la façon dont les fragments sont ensuite transmis sur le canal de propagation.

Codage de canal

- [0025] Dans un réseau de communication radio-mobile, il est bien connu que tous les récepteurs ne sont pas équivalents en termes de capacité de réception, étant donné notamment que les conditions de canal peuvent varier en fonction du récepteur considéré. De ce fait, il existe des récepteurs faibles, qui limitent naturellement le débit de réception de tous les autres récepteurs, créant ainsi un goulot d'étranglement pour des transmissions utilisant des techniques de codage/décodage de canal conventionnelles.
- [0026] En matière de communication sans fil, notamment radio-mobile selon le standard 4G ou 5G, le *codage de canal* est communément utilisé pour protéger les informations émises contre des erreurs de transmission pouvant être causées par la présence de bruit et/ou d'interférences sur le canal de transmission du récepteur concerné ou par une puissance du signal reçu insuffisante.
- [0027] De manière connue, un codeur de canal est mis en œuvre par le nœud source ou émetteur (*e.g.* station de base 4G ou 5G) de manière à coder l'information à transmettre sur le canal de transmission. Un décodeur de canal est mis en œuvre par le récepteur (*e.g.* terminal mobile) de manière à mitiger les erreurs de transmission et récupérer avec fiabilité l'information émise par l'émetteur après transmission sur le canal bruité.
- [0028] Au cours des dernières décennies, plusieurs codes de canal à haute performance ont été développés pour transmettre des données de manière fiable et à des débits approchant la limite théorique imposée par la capacité de transmission du canal selon le théorème de Shannon. En particulier, les turbo-codes ont été exploités dans les standards de communication radio-mobile de troisième et quatrième générations (3G,

4G) tandis que les codes LDPC (*Low Density Parity Check*) ont été adoptés dans le standard Wi-Fi (*e.g.* IEEE 802.11 a/b/g) et dans les standards de communication par satellite.

[0029] Plus récemment sont apparus les codes polaires, dits *Polar Codes* en anglais, offrant de bonnes performances de correction d'erreurs pour la réception de messages courts. Les inventrices ont constaté, au cours de leurs travaux de recherche, que les codes polaires n'ont pas encore été appliqués spécifiquement dans le cadre de la phase de livraison de contenus numériques (*e.g.* fragments de fichiers manquants lors de la phase de livraison), notamment dans des réseaux radio-mobiles.

Résumé de l'invention

[0030] Un problème technique visé par la présente invention est de fournir un procédé de multi-diffusion qui, lors de l'étape de livraison, permet de transmettre les fichiers ou les fragments de fichiers manquants à chacun des récepteurs, de manière à minimiser le temps de livraison à travers le réseau de communication ou de manière équivalente à maximiser le débit de transmission pour l'ensemble des récepteurs.

[0031] En réponse à ce problème, les inventrices proposent un procédé de multi-diffusion et un procédé d'obtention de fragments de fichiers mettant en œuvre une technique de codage/décodage améliorée qui tient compte des limitations liées aux différents récepteurs (*e.g.* conditions de canal de transmission), lors du codage du contenu numérique à transmettre aux récepteurs.

[0032] Selon l'approche suivie par les inventrices, il s'agit d'envoyer un même paquet de données numériques (*i.e.* une même séquence de bits codés) simultanément à différents récepteurs, de sorte que ce paquet puisse être décodé sans erreur par les récepteurs plus faibles, sans provoquer de limitation en termes de débit ou temps de transmission auprès des autres récepteurs.

[0033] La technique de codage proposée dans le cadre de la présente invention fait en sorte que les récepteurs les plus faibles ne créent pas de goulot d'étranglement en termes de débit binaire (Mbit/s) ou de manière équivalente ne créent pas des ralentissements de transmission, en particulier vis-à-vis des récepteurs les plus forts. Selon l'invention, chaque récepteur peut être servi à un débit adapté aux conditions de canal qui lui sont propres.

[0034] De manière générale, le terme *codage* pourra se référer à la manière de combiner plusieurs fragments de fichiers destinés à des récepteurs différents et/ou au codage de canal tel que défini ci-avant.

[0035] Ainsi, un objet de la présente invention est un procédé de multidiffusion de fragments manquants de fichiers numériques à un ensemble de récepteurs comprenant une pluralité de récepteurs faibles comprenant chacun une mémoire cache dans

laquelle sont stockés un ou plusieurs fragments de fichiers numériques pré-stockés, les fragments manquants de fichiers destinés à être diffusés n'étant pas préalablement stockés dans la mémoire cache des récepteurs respectifs (*i.e.* de tous les récepteurs faibles) requérant ces fichiers.

- [0036] Le procédé comprenant les étapes suivantes :
- [0037] sélection d'un sous-ensemble de récepteurs faibles ;
- [0038] pour chaque récepteur dudit sous-ensemble, identification d'au moins un fragment d'un fichier requis par ledit chaque récepteur et tel que ledit au moins un fragment est présent dans la mémoire cache de tous les autres récepteurs faibles appartenant audit sous-ensemble ;
- [0039] pour chaque récepteur dudit sous-ensemble et pour chacun dudit au moins un fragment de fichier identifié lors de l'étape précédente, regroupement/répartition dudit au moins un fragment du fichier en une pluralité de blocs b de taille m_i égale à la capacité de décodage dudit récepteur ;
- [0040] combinaison des blocs issus de l'étape c) de manière à fournir une séquence de bits combinés $W_{G,b}$;
- [0041] codage d'une séquence de bits à transmettre comprenant la séquence de bits combinés $W_{G,b}$, par application d'une technique de codage, de manière à fournir une séquence de bits codés W_c ; et
- [0042] envoi de ladite séquence de bits codés W_c à un ensemble de récepteurs comprenant le sous-ensemble de récepteurs faibles.
- [0043] Ainsi, le regroupement ou la répartition des fragments de fichiers tient compte de la capacité de décodage m_i de chaque récepteur R_i , cette capacité étant directement liée aux conditions de canal entre l'émetteur et le récepteur. Ceci permet avantageusement d'éviter aux récepteurs disposant des capacités de décodage les plus faibles de limiter le débit de transmission de tous les autres récepteurs, en évitant ainsi un goulot d'étranglement dans des réseaux de communication utilisant des techniques de codage/décodage conventionnelles (*e.g.* réseaux radio-mobiles de type 4G).
- [0044] Par ailleurs, le procédé selon l'invention permet, par l'envoi d'une unique séquence de bits codée, de servir simultanément l'ensemble des récepteurs concernés évitant l'envoi de séquences multiples différentes propres à chaque récepteur. En réduisant le nombre de paquets transmis, le procédé selon l'invention contribue à optimiser les ressources du réseau (*e.g.* réduction de la signalisation, *etc.*).
- [0045] Selon une caractéristique de l'invention, chacun desdits blocs obtenus lors de l'étape c) est rempli par des bits "0" lors d'une étape de remplissage de sorte que la taille du bloc soit égale à la capacité de décodage maximale m_G des récepteurs faibles du sous-ensemble.
- [0046] Ainsi, les blocs dans lesquels sont regroupés un ou plusieurs fragments de fichiers ont

tous la même taille et peuvent être facilement combinés entre eux lors de l'étape de combinaison d).

- [0047] Selon une autre caractéristique de l'invention, l'étape de combinaison est mise en œuvre par application de l'opérateur logique OU exclusif (X-OR).
- [0048] De manière avantageuse, l'opérateur OU exclusif est relativement simple à mettre en œuvre et nécessite une puissance de calcul modérée permettant ainsi d'optimiser l'architecture des émetteurs et des récepteurs associés.
- [0049] Selon une autre caractéristique de l'invention, la technique de codage utilisée lors de l'étape de codage est une technique de codage polaire configurée pour recevoir en entrée les bits de ladite séquence de bits à transmettre.
- [0050] A cet égard, les inventrices ont constaté que la sélection d'un code polaire parmi l'ensemble des codes utilisés pour mettre en œuvre un codage de canal existants pour coder la séquence de bits à transmettre à travers le canal de transmission est particulièrement efficace en termes de débits, dès lors que la séquence de bits à transmettre tient compte de la capacité de décodage de chacun des récepteurs comme décrit ci-avant. L'utilisation de codes polaires facilite l'envoi simultané de bits destinés à un ensemble de récepteurs faibles et de bits destinés à des récepteurs plus forts.
- [0051] Ainsi, l'application d'un code polaire classique sur une séquence de bits construite de manière à prendre en compte la capacité de décodage de chaque récepteur du sous-ensemble comme décrit ci-avant est particulièrement avantageuse pour accroître les débits de transmission et par conséquent réduire le temps nécessaire pour permettre aux récepteurs de récupérer les fragments de fichiers manquants à travers le réseau.
- [0052] Selon une autre caractéristique de l'invention, l'étape de codage comprend une sous-étape d'ordonnancement, lors de laquelle les bits de la séquence de bits à transmettre sont agencés par ordre croissant de leur probabilité d'erreur avant l'application de la technique de codage.
- [0053] Ainsi, lors du codage de canal, le premier bit de la séquence de bits à transmettre est codé par le bit le plus fiable du code de canal, le deuxième bit de la séquence de bits à transmettre est codé par le deuxième bit le plus fiable du code de canal. Autrement dit, avant d'émettre, les bits du code de canal sont agencés par ordre croissant de leur paramètre Z (ou par probabilité d'erreur croissante) de manière à être envoyés dans cet ordre sur le canal de transmission.
- [0054] Cette caractéristique est particulièrement avantageuse lorsque la technique de codage est basée sur un code polaire pour tenir compte des propriétés du canal. De cette façon, les récepteurs les plus faibles pourront bien décoder les bits qui leur sont dédiés.
- [0055] Selon une autre caractéristique de l'invention, le procédé comprend en outre les étapes suivantes :
- [0056] - sélection d'au moins un récepteur fort parmi ledit ensemble de récepteurs, ledit au

- moins un récepteur fort ne disposant pas de mémoire cache et requérant un fragment de fichier $W_{j,b}(G)$ contenu dans les mémoires cache de récepteurs faibles du sous-ensemble G , de préférence, ledit récepteur fort ayant une capacité de décodage m_j supérieure à la capacité de décodage maximale m_G des récepteurs faibles ($m_j > m_G$);
- [0057] - concaténation de la séquence de bits combinés $W_{G,b}$ avec le fragment de fichier $W_{j,b}(G)$ de manière à former la séquence de données à transmettre destinée à être codée lors de l'étape de codage.
- [0058] Selon cette particularité de l'invention, le procédé permet de servir également les récepteurs forts (i.e. ne disposant pas de mémoire cache) en incluant dans la séquence de bits à coder des fragments de fichiers destinés à ces récepteurs.
- [0059] Un autre objet de l'invention est un procédé d'obtention (ou de lecture) d'au moins un fragment de fichier à partir d'une séquence de bits reçue Y_k correspondant à la séquence de bits codés W_c émise par un émetteur conformément au procédé de multidiffusion tel que décrit ci-dessus et transmise à travers un canal de transmission.
- [0060] Le procédé d'obtention comprend en outre, pour chaque récepteur faible R_k appartenant au sous-ensemble G , les étapes suivantes:
- [0061] réception de ladite séquence de bits reçue Y_k ;
- [0062] combinaison des fragments de fichiers destinés aux autres récepteurs faibles appartenant au sous-ensemble G , ces fragments étant stockés dans la mémoire cache M_k du récepteur faible R_k de manière à obtenir une séquence combinée $W_{k,b,XOR}(G)$;
- [0063] sélection des m_k premiers bits de ladite séquence combinée $W_{k,b,XOR}(G)$, de manière à former une séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$, les bits restant de la séquence combinée formant une séquence de bits gelés $W_{k,b,XOR,frozen}$;
- [0064] décodage de canal des m_k premiers bits de la séquence de bits reçue en utilisant la séquence de bits gelés $W_{k,b,XOR,frozen}$ de manière à former une séquence de bits décodés X_k , le décodage étant basé sur un code utilisé par l'émetteur T lors de l'étape de codage ;
- [0065] combinaison de la séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$ et de la séquence de bits décodée X_k de manière à obtenir les fragments de fichiers $W_{k,b}(G \setminus \{k\})$ requis par le récepteur R_k .
- [0066] Un autre objet de l'invention est un procédé de communication mis en œuvre dans un réseau comprenant une pluralité de nœuds de communication, le procédé comprenant les étapes du procédé de multidiffusion et les étapes du procédé d'obtention tels que décrits ci-dessus.
- [0067] Un autre objet de l'invention est un dispositif de traitement de l'information comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé de multidiffusion et/ou les étapes du procédé d'obtention tels que décrits ci-dessus.
- [0068] Un autre objet de l'invention est un système de multidiffusion comprenant au moins un serveur configuré pour mettre en œuvre les étapes du procédé de multidiffusion tel

que décrit ci-dessus et une pluralité de dispositifs clients configurés pour mettre en œuvre les étapes du procédé d'obtention tel que décrit ci-dessus.

- [0069] L'invention concerne également un programme d'ordinateur comprenant des instructions adaptées à la mise en œuvre de chacune des étapes du procédé de multidiffusion et/ou du procédé d'obtention selon l'invention tels que décrits ci-dessus, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur ou tout autre dispositif équivalent.
- [0070] L'invention concerne également un moyen de stockage d'informations, amovible ou non, partiellement ou totalement lisible par un ordinateur ou un microprocesseur comportant des instructions de code d'un programme d'ordinateur pour l'exécution de chacune des étapes du procédé de multidiffusion et/ou du procédé d'obtention selon l'invention.
- [0071] Dans un mode particulier de réalisation, des étapes du procédé de multidiffusion et/ou du procédé d'obtention précité(s) sont déterminées par des instructions de programmes d'ordinateur.
- [0072] En conséquence, l'invention vise aussi un programme d'ordinateur sur un support d'informations, ce programme étant susceptible d'être mis en œuvre par un microprocesseur, ce programme comprenant des instructions adaptées à la mise en œuvre des étapes du procédé de multidiffusion et/ou du procédé d'obtention tels que mentionnés ci-dessus.
- [0073] Ce programme peut utiliser n'importe quel langage de programmation et être sous la forme de code source, code objet, ou de code intermédiaire entre code source et code objet, tel que dans une forme partiellement compilée, ou dans n'importe quelle autre forme souhaitable.
- [0074] L'invention vise aussi un support d'informations ou moyen de stockage d'informations, amovible ou non, partiellement ou totalement lisible par un microprocesseur, et comprenant des instructions de code d'un programme d'ordinateur pour l'exécution de chacune des étapes du procédé multidiffusion et/ou des étapes du procédé d'obtention tels que décrits ci-dessus.
- [0075] Le support d'informations peut être n'importe quelle entité ou dispositif capable de stocker le programme. Par exemple, le support peut comprendre un moyen de stockage, tel qu'une ROM, par exemple une ROM de microcircuit, ou encore un moyen d'enregistrement magnétique, par exemple un disque dur, ou encore une mémoire flash.
- [0076] D'autre part, le support d'informations peut être un support transmissible tel qu'un signal électrique ou optique, qui peut être acheminé via un câble électrique ou optique, par radio ou par d'autres moyens. Le programme selon l'invention peut être en particulier téléchargé sur une plateforme de stockage d'un réseau de type Internet.

[0077] Alternativement, le support d'informations peut être un circuit intégré dans lequel le programme est incorporé, le circuit étant adapté pour exécuter ou pour être utilisé dans l'exécution du procédé en question.

[0078] Le support d'informations et le programme d'ordinateur précités présentent des caractéristiques et avantages analogues au procédé qu'ils mettent en œuvre.

Brève description des figures

[0079] D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront encore dans la description ci-après, en relation avec les dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs.

[0080] [fig.1] La figure 1 illustre un scénario mettant en œuvre un procédé de multidiffusion codée connu de l'art antérieur.

[0081] [fig.2] La figure 2 illustre un scénario de multidiffusion codée dans lequel est mise en œuvre la présente invention.

[0082] [fig.3] La figure 3 illustre un exemple de combinaison de fragments de fichiers à destination de deux récepteurs faibles selon un premier mode de réalisation du procédé de multidiffusion selon l'invention.

[0083] [fig.4] La figure 4 illustre un exemple de combinaison de fragments de fichiers à destination de deux récepteurs faibles et d'un récepteur fort selon un deuxième mode de réalisation du procédé de multidiffusion selon l'invention.

[0084] [fig.5] La figure 5 illustre de manière schématique un exemple de mise en œuvre du codage de canal par l'émetteur et du décodage de canal par le récepteur après transmission sur le canal de transmission selon un mode de réalisation de l'invention.

[0085] [fig.6] La figure 6 illustre un mode de réalisation particulier du procédé de multidiffusion de l'invention.

[0086] [fig.7] La figure 7 illustre un exemple de mise en œuvre du procédé de multidiffusion de l'invention dans un réseau comprenant une pluralité de récepteurs faibles et une pluralité de récepteurs forts.

[0087] [fig.8] La figure 8 illustre un mode de réalisation particulier du procédé d'obtention de fragments de fichiers par un récepteur faible selon l'invention.

[0088] [fig.9] La figure 9 illustre un exemple de mise en œuvre du procédé d'obtention de fragments de fichiers par un récepteur faible selon l'invention, dans un réseau comprenant une pluralité de récepteurs faibles et une pluralité de récepteurs forts.

[0089] [fig.10] La figure 10 illustre de manière schématique les séquences de bits obtenues lors de l'exécution du procédé d'obtention selon l'exemple illustré à la figure 9.

[0090] [fig.11] La figure 11 illustre les résultats de performances obtenus grâce à l'invention en comparaison avec ceux obtenus par une technique de l'art antérieur.

[0091] [fig.12] La figure 12 est un bloc-diagramme schématique d'un dispositif de traitement

de l'information pour la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention.

Description détaillée de l'invention

- [0092] Selon un aspect de l'invention, il s'agit de regrouper (ou répartir) les fragments de fichiers manquants à transmettre à un ensemble de récepteurs, en tenant compte de la capacité de décodage propre à chacun de ces récepteurs, avant de les combiner, par exemple, par l'application de l'opérateur X-OR.
- [0093] Selon une particularité de l'invention, l'application d'une technique de codage de canal basée sur des codes polaires pour coder la séquence de bits préalablement combinés est particulièrement simple par rapport à d'autres techniques de codage de canal pour obtenir les meilleurs débits de transmission.
- [0094] L'invention va être maintenant décrite dans le cadre de la multidiffusion de fragments de fichiers à une pluralité de récepteurs sur un réseau de communication de préférence radio-mobile, selon différents modes et variantes de réalisation donnés à titre d'exemple dans le cadre du scénario illustré sur la **figure 2**.
- [0095] De manière générale, on considère une communication, selon laquelle un unique émetteur T envoie du contenu numérique à une pluralité de récepteurs R_1, \dots, R_K où K désigne un entier naturel tel que $K > 2$. L'objectif de cette communication est de fournir les fragments de fichiers manquants aux différents récepteurs, de sorte que les récepteurs R_1, \dots, R_K obtiennent la connaissance complète des fichiers W_1, \dots, W_K respectivement.
- [0096] Pour des raisons de simplicité, l'invention est décrite uniquement pour un unique nœud source mais bien évidemment, l'invention s'applique également dans le cas où plusieurs nœuds sources sont destinés à diffuser des contenus numériques. Dans ce cas, un module de coordination pourra être fourni de manière à coordonner les émissions simultanées des différents nœuds sources à destination des récepteurs. Parmi l'ensemble des K récepteurs, un sous-ensemble de L récepteurs désignés R_1, \dots, R_L disposent d'une mémoire cache M_1, \dots, M_L dédiée à la communication, où L désigne un entier naturel tel que $L \leq K$. Par la suite, ces récepteurs sont dénommés *récepteurs faibles*.
- [0097] On suppose que les mémoires caches M_1, \dots, M_L de ces L récepteurs faibles R_1, \dots, R_L ont été préalablement alimentées en fragments de fichiers par un nœud source ou émetteur T, lors d'une étape de *prefetching* telle que décrite précédemment.
- [0098] A cet effet, l'émetteur T a préalablement découpé chaque fichier W_k de taille F_k contenu dans une base de données 1, en un nombre entier p de fragments, tel que $W_k = [W_k^1, \dots, W_k^p]$, où chaque fragment de fichier W_k^l (avec $1 \leq l \leq p$) est constitué par $\Delta_k = F_k / p$ éléments binaires (ou bits appartenant à l'ensemble $\{0, 1\}$). Autrement dit, chaque

fichier W_k est découpé en p fragments de taille Δ_k .

- [0099] L'émetteur T a la connaissance des fragments de fichiers envoyés à chaque récepteur lors de l'étape de *prefetching*. Cette connaissance est stockée, par exemple sous la forme d'une table dans la base de données 1 associant à chaque récepteur (*e.g.* R_1, R_2) les fragments de fichiers comme illustré sur la figure 2 que l'émetteur lui a précédemment envoyés. Cette table peut être mise à jour à chaque nouvel envoi de fragments de fichiers par l'émetteur T.
- [0100] De manière générale, on suppose que parmi les $K-L$ récepteurs restants, il existe des récepteurs désignés R_{L+1}, \dots, R_K qui ne disposent pas de mémoire cache. Par la suite, on dénommera ces récepteurs par *récepteurs forts*.
- [0101] Dans l'exemple de la **figure 2** (cas particulier simplifié où $L=2$ et $K=3$), le récepteur R_3 est fort contrairement à R_1 et R_2 qui sont des récepteurs faibles disposant d'une mémoire cache M_1 et M_2 respectivement.
- [0102] De manière générale, on suppose que l'émetteur T et l'ensemble des récepteurs R_1, \dots, R_K sont configurés pour obtenir des informations relatives à l'état de leur canal de transmission utilisé pour la diffusion des contenus numériques. Pour chacun des récepteurs, ces informations incluent notamment la capacité C_k d'un canal de communication entre l'émetteur T et le récepteur R_k considéré.
- [0103] Ainsi, pour une communication mettant en œuvre un codage de canal, le récepteur R_k est capable de décoder tout ensemble de $m_k < n \times C_k$ bits, où n est un entier naturel non nul désignant la longueur du code de canal utilisé pour coder les informations transmises sur le canal de transmission.
- [0104] Ces informations dites de canal sont obtenues de manière conventionnelle, par exemple pendant une phase de signalisation préalable, lors de laquelle l'émetteur envoie un signal de référence dit "*pilot signal*" en anglais. Ayant connaissance de ce signal de référence et en fonction du signal reçu, chaque récepteur R_k (faible ou fort) est adapté à estimer la capacité associée à son propre canal de transmission. Il envoie alors cette information sur un lien en voie de retour à l'émetteur. Sur réception de ces informations, l'émetteur T les stocke dans une mémoire, par exemple dans la base de données 1, de manière à maintenir à jour les capacités de décodage de chacun des récepteurs.
- [0105] Selon l'exemple simplifié de la figure 2, le système de communication mis en œuvre pour la multidiffusion de fragments de fichiers comprend deux récepteurs faibles R_1, R_2 , un récepteur fort R_3 , *i.e.* $L=2$ et $K=3$, au moins un nœud d'émission T et au moins un réseau de communication (non illustré).
- [0106] On suppose que les trois fichiers W_1, W_2, W_3 (*i.e.* $k=\{1; 2; 3\}$) destinés respectivement aux trois récepteurs R_1, R_2, R_3 sont préalablement découpés chacun en trois fragments (*i.e.* $p=3$: $l=\{1, 2, 3\}$), *i.e.* : $W_1=[W_1^1, W_1^2, W_1^3]$; $W_2=[W_2^1, W_2^2, W_2^3]$; W_3

$=[W_3^1, W_3^2, W_3^3]$.

- [0107] Comme décrit ci-avant, ces fragments sont stockés dans la base de données 1. Ils sont ensuite distribués aux récepteurs R_1 et R_2 , par exemple, de sorte que les fragments de sur-indice $l=1$ (*i.e.* W_1^1, W_2^1, W_3^1) sont envoyés au récepteur R_1 , les fragments de sur-indice $l=2$ (*i.e.* W_1^2, W_2^2, W_3^2) sont envoyés aux récepteur R_2 et les fragments de sur-indice $l=3$ (*i.e.* W_1^3, W_2^3, W_3^3) sont envoyés aux récepteurs R_1 et R_2 . Dans ce contexte, on suppose que :
- [0108] - le premier récepteur R_1 ayant requis le fragment de fichier W_1^2 , dispose d'une capacité de décodage m_1 et comprend dans sa mémoire cache M_1 les fragments de fichiers $\{W_1^1, W_2^1, W_3^1; W_1^3, W_2^3, W_3^3\}$;
- [0109] - le deuxième récepteur R_2 ayant requis le fragment de fichier W_2^1 , dispose d'une capacité de décodage m_2 et comprend dans sa mémoire cache M_2 les fragments de fichier $W_1^2, W_2^2, W_3^2; W_1^3, W_2^3, W_3^3$; et
- [0110] - le troisième récepteur R_3 ayant requis le fragment de fichier W_3^2 , dispose d'une capacité de décodage m_3 mais ne comprend aucune mémoire cache (*i.e.* récepteur fort).
- [0111] Les capacités de décodage m_1, m_2, m_3 sont préalablement déterminées comme décrit ci-avant et associées respectivement aux récepteurs R_1, R_2, R_3 dans la base de données 1.
- [0112] Un mode de réalisation particulier du procédé de multidiffusion selon l'invention va être maintenant décrit en référence à la **figure 6**.
- [0113] Lors d'une étape de sélection E1, l'émetteur T sélectionne un groupe ou sous-ensemble G de récepteurs parmi l'ensemble des L récepteurs disposant d'une mémoire cache (*i.e.* sous-ensemble de récepteurs faibles). D'après l'exemple de la **figure 2**, le groupe G est constitué par l'ensemble des récepteurs faibles R_1 et R_2 .
- [0114] Lors d'une étape **d'identification E3**, le nœud source T identifie, pour chaque récepteur R_i appartenant au groupe ou sous-ensemble G, les fragments du fichier W_i qui sont stockés dans les mémoires caches M_λ de tous les autres récepteurs du sous-ensemble G (*i.e.* $G \setminus \{i\}$).
- [0115] Selon l'exemple détaillé illustré sur la **figure 7**, cet ensemble de fragments est désigné par $W_i(G \setminus \{i\})$, tel que $W_i(G \setminus \{i\}) \in \bigcap_{\lambda \in G \setminus \{i\}} M_\lambda$, où \bigcap désigne l'opérateur ensembliste "intersection". Ainsi, selon le scénario de la **figure 2**, le nœud source T est adapté à identifier que pour le premier récepteur R_1 , le fragment W_1^2 du fichier W_1 est stocké dans la mémoire cache M_2 du deuxième récepteur R_2 et que pour le deuxième récepteur R_2 , le fragment W_2^1 du fichier W_2 est stocké dans la mémoire cache M_1 du premier récepteur R_1 . Cette étape d'identification E3 servira avantageusement à récupérer les fragments de fichiers manquants lors l'étape de décodage qui sera décrite ultérieurement.

- [0116] Lors d'une étape de regroupement (ou répartition) E5, le nœud source T est adapté à regrouper (ou répartir) les ensembles de fragments de fichiers $W_i(G \setminus \{i\})$ préalablement identifiés lors de l'étape d'identification E3. Le regroupement (ou la répartition) des fragments de fichier est effectuée par le nœud source T en tenant compte de la capacité de décodage m_i de chacun des récepteurs R_i , ce qui permet avantageusement de maximiser les débits de transmission ou de manière équivalente de minimiser le temps de transmission pour l'acquisition des fragments de fichiers manquants par les différents récepteurs.
- [0117] Selon l'exemple détaillé de la **figure 7**, les fragments de fichiers de chaque ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$ destinés au récepteur R_i sont regroupés (ou répartis) au sein de b_i blocs de fragments de fichiers. La représentation binaire d'un bloc est désignée par $W_{i,j}(G \setminus \{i\})$, où $1 \leq j \leq b_i$ de sorte que $W_i(G \setminus \{i\}) = \{W_{i,1}(G \setminus \{i\}), \dots, W_{i,b_i}(G \setminus \{i\})\}$. Ainsi, $W_{i,1}(G \setminus \{i\})$ est la représentation binaire du bloc n°1 de l'ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$, tandis que $W_{i,b_i}(G \setminus \{i\})$ est la représentation binaire du bloc n° b_i de l'ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$ et $W_{i,b_i}(G \setminus \{i\})$ est la représentation binaire du bloc n° b_i de l'ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$.
- [0118] Par exemple, le nombre de blocs b_i est calculé en divisant le nombre de fragments dans l'ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$ associé au fichier W_i stockés dans toutes les mémoires caches des récepteurs de $G \setminus \{i\}$ par le nombre $q_i = m_i / \Delta_i$ de fragments du fichier W_i que le récepteur R_i peut décoder de façon fiable pendant la durée d'un mot de code, le résultat de cette division étant arrondi à l'entier supérieur le plus proche. Ainsi, chacun des ensembles de fragments de fichiers $W_i(G \setminus \{i\})$ est assemblé en blocs de taille égale au nombre de bits maximal m_i que chaque récepteur R_i peut décoder pendant la durée d'un mot de code, ce qui permet avantageusement de tenir compte par la suite des conditions du canal entre l'émetteur T et le récepteur R_i notamment lors de l'étape de codage de canal décrite ci-après.
- [0119] Par exemple, si l'ensemble $W_i(G \setminus \{i\})$ comprend 10 000 fragments de fichiers, l'étape de regroupement E5 permet d'assembler (ou de répartir) ces fragments en 10 blocs de 1000 fragments chacun, en supposant que le récepteur R_i peut décoder au maximum 1000 fragments par unité de temps de référence sans faire d'erreur.
- [0120] Le regroupement des ensembles de fragments en blocs par le nœud source T va être maintenant décrit de manière détaillée en référence aux figures 3 et 4 selon le scénario de la figure 2.
- [0121] La **figure 3** illustre un premier mode de réalisation, selon lequel les fragments de fichiers destinés aux deux récepteurs faibles R_1 et R_2 sont combinés sans tenir compte du récepteur fort R_3 (e.g. absence de récepteurs forts). Par exemple, l'ensemble des fragments de fichiers destinés au premier récepteur R_1 (i.e. $W_1(G \setminus \{1\})$) est réparti en 3 blocs de taille égale à m_1 , tandis que l'ensemble des fragments de fichiers destinés au deuxième récepteur R_2 (i.e. $W_2(G \setminus \{2\})$) est réparti en 2 blocs de taille égale à $m_2 > m_1$.

La capacité maximale de décodage des récepteurs du sous-ensemble G est égale à m_g (*i.e.* $m_g = \text{Max}\{m_1, m_2\}$). Dans cet exemple particulier, on considère que $m_g = m_2$.

[0122] Selon la représentation particulière de la **figure 3**, le fragment de fichier W_1^2 appartenant à l'ensemble de fragments de fichiers $W_1(G \setminus \{1\})$ destiné au premier récepteur R_1 est inclus intégralement dans l'un des trois blocs représentés, chacun de ces blocs étant destiné à recevoir un ou plusieurs fragments de fichiers de l'ensemble $W_1(G \setminus \{1\})$. De même, le fragment de fichier W_2^1 appartenant à l'ensemble de fragments de fichiers $W_2(G \setminus \{2\})$ destinés au deuxième récepteur R_2 est inclus intégralement dans un des deux blocs représentés, chacun de ces blocs étant destiné à recevoir un ou plusieurs fragments de fichiers de l'ensemble $W_2(G \setminus \{2\})$.

[0123] Selon l'exemple ci-dessus, un bloc contient un fragment de fichier. Toutefois, on pourra considérer d'autres façons de répartir les fragments de fichiers à travers les blocs, en particulier en faisant en sorte que les blocs comprennent une pluralité de fragments de fichiers.

[0124] Dans le scénario décrit en référence à la **figure 2**, seul un fichier manquant a été identifié pour chacun des récepteurs R_1, R_2, R_3 pour des raisons de simplicité de description. Toutefois en pratique, il est prévu de fournir simultanément plusieurs fragments de fichiers manquants à un récepteur respectif ou à plusieurs récepteurs ayant requis ces fragments. Dans ce cas (non illustré), on considérera que chacun des ensembles de fragments de fichiers $W_1(G \setminus \{1\}), W_2(G \setminus \{2\})$ et $W_3(G \setminus \{2\})$ et de manière générale, l'ensemble de fragments de fichiers $W_i(G \setminus \{i\})$ destinés au récepteur R_i comprend une pluralité de fragments de fichiers, chacun de ces fragments de fichiers pouvant être regroupés (ou répartis) dans un ou plusieurs blocs b de taille m_i lors de l'étape E5.

[0125] La **figure 4** illustre un premier mode de réalisation selon lequel les fragments de fichiers W_1^2, W_2^1 destinés respectivement aux deux récepteurs faibles R_1 et R_2 sont combinés en tenant compte du récepteur fort R_3 . Le récepteur fort R_3 dispose d'une capacité de décodage m_3 supérieure à la capacité de décodage maximale des récepteurs faibles (*i.e.* $m_3 > \text{Max}(m_1, m_2) = m_2$, où $\text{Max}()$ désigne la fonction qui fournit en sortie la valeur maximale de ses arguments d'entrée).

[0126] De manière générale, lors de l'étape de regroupement (ou de répartition) E5, l'ensemble de fragments de fichiers $W_i(G \setminus \{i\})$ sont regroupés (ou répartis) dans un ensemble de b_i blocs de fragments de fichiers, chaque bloc b ayant pour représentation binaire $W_{i,b}(G \setminus \{i\})$ tel que $1 \leq b \leq b_i$. Par exemple, chacun des blocs comprend q_i ($q_i = m_i / \Delta_i$) fragments de fichiers.

[0127] Ainsi, pour chaque récepteur R_i , la répartition des fragments de fichiers dans chacun des blocs tient compte avantageusement de la capacité de décodage m_i de chaque récepteur R_i .

- [0128] Le nœud source T est adapté pour identifier le plus volumineux bloc b_G de données (*i.e.* bloc de fragments de fichier) à transmettre à destination des récepteurs du sous-ensemble G, tel que $b_G = \text{Max}(b_\lambda)$ avec $1 \leq \lambda \leq L$.
- [0129] Lors d'une étape de remplissage E6 (*i.e. padding* en anglais) selon la **figure 6**, le nœud source T complète les représentations binaires des blocs $W_{i,b}(G \setminus \{i\})$ en y insérant des bits nuls "0", de telle sorte que la taille de chaque bloc b soit égale au nombre de bits que les récepteurs appartenant au sous-ensemble G sont capables de décoder sur un mot de code de canal, cette taille étant égale à $m_G = \text{Max}(m_\lambda)$ avec $1 \leq \lambda \leq L$. Ainsi, à l'issue de l'étape de remplissage E6, tous les blocs $b \in [1, \dots, b_i]$ ont une même taille égale à m_G . Cette étape de remplissage permet avantageusement de préparer l'étape de combinaison des représentations binaires des blocs b telle que décrite ci-après.
- [0130] Lors d'une étape de combinaison E7, les blocs de taille m_G après avoir été éventuellement complétés par des bits nuls (*i.e.* "0") lors de l'étape de remplissage E6 sont combinés bit par bit en appliquant l'opérateur X-OR tel que décrit ci-avant. Par exemple, on notera $W_{G,b} = \bigoplus_{i \in G \setminus \{i\}} W_{i,b}(G \setminus \{i\})$ la séquence de bits combinés résultant de l'étape de combinaison E7.
- [0131] D'après l'exemple de la **figure 7**, le procédé de multidiffusion selon l'invention est adapté pour servir également des récepteurs forts, tel que le récepteur R'_3 selon le scénario de la figure 2, de manière à lui fournir le fragment de fichier manquant W_3^2 .
- [0132] Ainsi, dans ce mode de réalisation particulier, le nœud source T sélectionne, lors d'une étape de sélection E8, un récepteur R_j parmi les récepteurs ne disposant pas de mémoire cache (*e.g.* $L+1 \leq j \leq K$). De préférence, ce récepteur fort R_j a une capacité de décodage m_j supérieure à celle de n'importe quel des récepteurs faibles, *i.e.* appartenant à l'ensemble G (*i.e.* $m_j > m_G$). Par exemple, le récepteur R_j sélectionné est tel qu'il requiert des fragments d'un fichier W_j stockés dans les mémoires caches de tous les récepteurs faibles appartenant à l'ensemble G, ces fragments étant désignés par l'ensemble $W_j(G)$. On suppose qu'au moins une partie de ces fragments n'a pas encore été envoyée audit récepteur R_j .
- [0133] Par exemple, pour chaque bloc $b \in [1, \dots, b_G]$, on désignera par $W_{j,b}(G)$ tel que , $W_{j,b}(G) \in \bigcap_{\lambda \in [1, \dots, L]} M_\lambda \neq \emptyset$, l'ensemble des fragments de fichiers (non vide) requis par le récepteur fort R_j et contenus dans les mémoires caches des récepteurs du sous-ensemble G. Si plus de $m_j - m_G$ bits de $W_j(G)$ n'ont pas encore été envoyés au récepteur R_j , le nœud source sélectionne les z_b prochains fragments de $W_{j,b}(G)$ tels que $z_b * \Delta_k \leq m_j - m_G$.
- [0134] Lors d'une étape de concaténation E8.1, le nœud source T est adapté à concaténer, pour chaque bloc $b \in [1, \dots, b_G]$, la séquence binaire $W_{G,b}$ obtenue à l'issue de l'étape de combinaison E7 et la séquence binaire $W_{j,b}(G)$ de taille $m_j - m_G$ sélectionnée parmi

l'ensemble $W_j(G)$ de manière à obtenir la séquence concaténée $W_{G,b,final}=[W_{G,b} | W_{j,b}(G)]$ dans laquelle les séquences binaires $W_{G,b}$ et $W_{j,b}(G)$ sont mises bout à bout. Par la suite, le symbole $|$ désignera l'opération de concaténation de deux séquences binaires.

- [0135] Lors d'une étape de codage de canal E9, le nœud source T est adapté à appliquer une technique de codage de canal basée de préférence sur un code polaire (*i.e. Polar Code* en anglais). En effet, une particularité de l'invention réside précisément dans la sélection des codes polaires parmi l'ensemble des codes existants pour coder la séquence de bits combinés $W_{G,b}$ à l'issue de l'étape de combinaison E7 et en particulier pour coder la séquence concaténée $W_{G,b,final}$ à l'issue de l'étape de concaténation E8.1 dans le cas il est prévu de servir un ou plusieurs récepteurs forts.
- [0136] En effet, les inventrices ont constaté, lors de leurs travaux de recherche, d'une part que les solutions de l'art antérieur appliquent un codage de canal indépendamment de la manière dont les paquets envoyés sur le réseau ont été créés ou obtenus et d'autre part que les codes polaires n'ont pour l'instant pas encore été exploités dans le cadre de la multidiffusion de fragments de fichiers à travers un réseau, notamment un réseau radio-mobile.
- [0137] Selon une particularité de l'invention, un code polaire est appliqué à une séquence de bits finale contenant des blocs de fragments de fichiers destinés à être transmis à l'ensemble des récepteurs. Cette séquence de bits finale, désignée $W_{G,b}$ ou $W_{G,b,final}$ en fonction du cas de figure considéré, a été formée en tenant compte de la capacité de décodage m_i de chacun des récepteurs R_i comme décrit ci-avant. Ainsi, le codage polaire est appliqué sur une séquence de bits particulière qui a été obtenue par combinaison des fragments de fichiers à destination des récepteurs faibles et éventuellement des récepteurs forts, cette séquence ayant la particularité de tenir compte des conditions de canal pour chacun des récepteurs de manière à optimiser les débits de réception des fragments de fichier.
- [0138] Selon le premier mode de réalisation tel que décrit en référence à la **figure 3**, la séquence finale $W_{G,b,final}$ correspond à la séquence de bits $W_{G,b}$ obtenue par regroupement (ou répartition), remplissage puis combinaison (X-OR) des fragments de fichiers incluant notamment W_1^2 , W_2^1 destinés respectivement aux premier R_1 et deuxième R_2 récepteurs.
- [0139] Selon l'exemple détaillé de la **figure 7**, la séquence finale $W_{G,b,final}$ correspond à la séquence de bits obtenue par concaténation de la séquence de bits $W_{G,b}$ et de la séquence de bits $W_{j,b}(G)$, de sorte que $W_{G,b,final}=[W_{G,b} | W_{j,b}(G)]$.
- [0140] Comme illustré sur la **figure 5**, le nœud source (ou émetteur) T est configuré pour mettre en œuvre un dispositif de codage de canal 20 de manière à coder la séquence de bits à émettre telle que décrite ci-dessus. Chaque récepteur R_i est configuré pour mettre en œuvre un dispositif de décodage de canal 40 de manière à décoder la séquences de

bits reçue de l'émetteur T après transmission à travers le canal. Par exemple, le dispositif de codage 20 et le dispositif de décodage 40 sont configurés pour appliquer une technique de codage et décodage basée sur le même code polaire, ce code pouvant être sélectionné parmi une liste de codes préinstallés.

- [0141] Selon une particularité de l'invention, le dispositif de codage de canal 20 est configuré de telle sorte que le premier bit de la séquence finale $W_{G,b,final}$ est codé par le premier bit le plus fiable dans le code polaire u_1 tandis que le second bit de la séquence concaténée $W_{G,b,final}$ est codé par le second bit le plus fiable dans le code polaire u_2 , et ainsi de suite pour les m_j bits de la séquence fournis en entrée du codeur, où l'indice j indique le récepteur fort choisi lors de l'étape E8 décrite auparavant.
- [0142] Si aucun récepteur fort n'a été choisi lors de l'étape E8, la séquence concaténée $W_{G,b,final}$ est de longueur m_G bits. Pour déterminer la fiabilité des bits (ou bits variés) du codage de canal, on peut se baser sur des algorithmes standards, qui ordonnent les bits par exemple par ordre croissant de leur paramètre Z . Par exemple, l'ordonnement des bits d'entrées du code polaire peut être stocké sous la forme d'une base de données 4 dans une mémoire du récepteur.
- [0143] Ainsi, selon l'exemple de la **figure 5**, les bits d'information de la séquence finale $W_{G,b,final}$ sont agencés par ordre croissant de probabilités d'erreur au moyen d'un module d'ordonnement 20.1 adapté à fournir en entrée du codeur de canal 20.3 une séquence de bits u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 ordonnés par ordre croissant de leur erreur de probabilité. Par exemple, les probabilités d'erreur auxquelles le module d'ordonnement a accès sont stockées sous la forme d'une base de données 2.
- [0144] De manière générale, le code utilisé pour le codage de canal a une taille optimale égale à n , où n désigne un entier naturel non nul. Le codeur de canal 20.3 dispose au total de n entrées et par conséquent est capable de coder au plus n bits simultanément.
- [0145] Dans l'exemple de la **figure 5**, on suppose que le codeur de canal 20.3 est configuré avec un code de taille $n=8$ mais que seuls $m_3=5$ bits d'informations sont codés, où $5=n \times C_3$, selon le scénario de la figure 2. De manière générale, on rappelle qu'un récepteur R_k peut décoder m_k bits simultanément de façon fiable, *i.e.* avec probabilité d'erreur très faible.
- [0146] Lors de l'étape de codage de canal E9, le codeur de canal 20.3 de l'émetteur T applique un code polaire à la séquence de bits ordonnés $\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5\}$ de manière à obtenir une séquence de bits codés par codage polaire $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$. Dans cet exemple, les trois derniers bits u_6, u_7, u_8 de la séquence ordonnée fournie en entrée du codeur de canal 20.3 sont fixés à une valeur de référence, connue par tout le monde, en générale fixée à "0". Seuls les cinq premiers bits u_1, u_2, u_3, u_4, u_5 sont des bits d'information tandis que les trois derniers bits u_6, u_7, u_8 sont des bits gelés (dits *frozen bits* en anglais), par exemple de valeur égale à "0".

- [0147] Ainsi, pour communiquer avec un récepteur de capacité C_k , les bits sont répartis en deux groupes : i) un groupe de $m_k < n * C_k$ bits d'information destinés à être décodés par le récepteur et ii) un groupe de $n - m_k$ bits gelés, fixés par défaut à une valeur connue par tout le monde (typiquement "0").
- [0148] Lors d'une étape d'émission E11, l'émetteur T envoie à travers le réseau la séquence de bits codés $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8\}$ à l'ensemble des récepteurs, par exemple, dans un même paquet de données transmis à travers un réseau 4G ou 5G. Le nombre et la valeur des bits gelés peuvent être également transmis par l'émetteur T aux récepteurs, par exemple lors de cette étape d'émission E11 ou bien peuvent être calculés par chaque récepteur comme décrit ci-après.
- [0149] En pratique, l'émetteur envoie les données sous la forme d'un paquet comprenant une entête et un champs de données. Le champ de données comprend la séquences de bits codés. L'entête comprend des indices permettant d'identifier les blocs de fragments de fichiers codés et les récepteurs auxquels ils sont destinés.
- [0150] Par exemple, l'entête comprend les indices i appartenant à l'ensemble $\{i_1, \dots, i_t\}$ désignant les récepteurs faibles du sous-ensemble G pour lesquels $b_i \geq b$, les indices $\{d_{i,b,1}, \dots, d_{i,b,q_i}\}$ associés à ces récepteurs des blocs des fragments de fichiers codés dans le champ de données du paquet. L'entête comprend en outre les indices désignant les récepteurs forts R_j , tel que $L+1 \leq j \leq K$, ainsi que les indices $\{d_{j,b,1}, \dots, d_{j,b,z_b}\}$ associés à leurs blocs des fragments de fichiers codés dans le champ de données du paquet.
- [0151] Selon l'exemple de la figure 7, l'émetteur T envoie, lors de l'étape d'émission E13, les fragments du fichier W_j restants à destination des récepteurs forts R_j où $L+1 \leq j \leq K$.
- [0152] Après transmission sur le canal C_i , la séquence de bits codés est reçue par le récepteur R_i . On suppose que la séquence reçue est $Y_i = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8\}$ et que le récepteur connaît le nombre et la valeur des bits gelés. Dans l'exemple de la figure 5, le récepteur détermine que les trois derniers bits de la séquence reçue sont des bits nuls (*i.e.* $y_6 = y_7 = y_8 = 0$).
- [0153] Le procédé de décodage mis en œuvre par un récepteur faible va maintenant être décrit selon un mode de réalisation particulier tel qu'illustré à la **figure 9**.
- [0154] Lors d'une étape de réception E20, le récepteur R_k reçoit un paquet de données correspondant au paquet émis par l'émetteur T après transmission sur le canal. Le paquet reçu comprend un entête et un champ de données, comme pour le paquet émis tel que décrit ci-dessus. Le champ de données du paquet reçu comprend la séquence Y_i .
- [0155] Sur réception du paquet, chaque récepteur faible R_k ($1 \leq k \leq L$) détermine lors d'une étape de test E21 si ce paquet le concerne. A cet effet, le récepteur R_k extrait les indices des récepteurs du sous-ensemble G , les indices des récepteurs forts R_j ($L+1 \leq j \leq K$) et les indices de blocs de fragments de fichiers associés à ces récepteurs, *i.e.* respectivement $\{d_{i,b,1}, \dots, d_{i,b,q_i}\}$ et $\{d_{j,b,1}, \dots, d_{j,b,z_b}\}$ tels que définis précédemment. Si le

récepteur R_k n'appartient pas au groupe G , le paquet reçu est ignoré. Sinon, il procède aux étapes suivantes.

- [0156] Lors d'une première étape d'extraction E22, le récepteur R_k extrait de sa mémoire cache M_k , les blocs des fragments de fichiers désignés $W_{j,b}(G)$ et destinés aux récepteurs forts R_j . Plus précisément, il extrait les fragments de fichiers associés aux indices $d_{j,b,1}, \dots, d_{j,b,z_b}$.
- [0157] Lors d'une deuxième étape d'extraction E23, le récepteur R_k extrait de sa mémoire cache M_k , les blocs des fragments de fichiers désignés $W_{i,b}(G \setminus \{i\})$, pour tout indice i tel que le récepteur R_i appartenant à $G \setminus \{k\}$ et pour tout indice b appartenant à l'ensemble $\{1, \dots, b_i\}$, *i.e.*, tous les contenus numériques de sa propre mémoire cache qui sont exclusivement stockés aussi dans les mémoires caches de $|G|-1$ autres récepteurs appartenant au groupe G . Pour chaque indice i , les fragments de fichiers spécifiques à retirer sont désignés par les indices $\{d_{i,b,1}, \dots, d_{i,b,q_i}\}$.
- [0158] On notera que les première et deuxième étapes d'extraction E22 et E23 peuvent être exécutées simultanément ou bien séquentiellement dans n'importe quel ordre.
- [0159] Par exemple, dans le cadre du scénario de la **figure 2**, le premier récepteur R_1 extrait de sa mémoire cache M_1 les fragments $W_1^1, W_2^1, W_3^1, W_1^3, W_2^3, W_3^3$ tandis que le deuxième récepteur R_2 extrait de sa mémoire cache M_2 les fragments $W_1^2, W_2^2, W_3^2, W_1^3, W_2^3, W_3^3$.
- [0160] Lors d'une étape de combinaison E24, les fragments de fichiers extraits à l'issue de la deuxième étape d'extraction E23 sont combinés par addition binaire en appliquant l'opérateur OU exclusif (X-OR), de manière à obtenir une séquence de bits combinés $W_{k,b,XOR}(G) = \bigoplus_{i \in G \setminus \{k\}} W_{i,b}(G \setminus \{k\})$.
- [0161] A cet effet, ces blocs sont préalablement complétés lors d'une sous-étape de remplissage (non illustrée) par des bits nuls "0", de sorte que chacun de ces blocs soit de taille égale à la capacité de décodage maximale des récepteurs faibles appartenant au groupe G , cette capacité étant désignée $m_G = \text{Max}(m_i)_{i \in G}$ et pouvant être transmise à l'ensemble des récepteurs, par exemple dans l'entête du paquet.
- [0162] Lors d'une étape de sélection E26, le récepteur R_k sélectionne les m_k premiers bits de la séquence combinée de manière à former une séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$, les bits restant de la séquence combinée formant une séquence de bits gelés $W_{k,b,XOR,frozen}$. Ainsi, la séquence de bits combinés $W_{k,b,XOR}(G)$ est divisée en deux sous-ensembles de bits en fonction de la capacité de décodage m_k du récepteur R_k : un premier sous-ensemble de bits d'information $W_{k,b,XOR,data}$ comprenant les m_k premiers bits de la séquence de bits combinés $W_{k,b,XOR}(G)$ et deuxième sous-ensemble de bits gelés (*frozen bits*) noté $W_{k,b,XOR,frozen}$ comprenant les bits restants de la séquence de bits combinés $W_{k,b,XOR}(G)$.
- [0163] Le deuxième sous-ensemble $W_{k,b,XOR,frozen}$ est ensuite concaténé à la séquence $W_{j,b}(G)$

de manière à former une séquence finale de bits gelés : $W_F = [W_{k,b,XOR, frozen} \parallel W_{j,b}(G)]$ qui servira à décoder la séquence de bits reçus comme décrit ci-dessous.

- [0164] Lors d'une étape de décodage de canal E28, le premier sous-ensemble $W_{k,b,XOR,data}$ est décodé par le décodeur de canal 40 du récepteur R_k en utilisant le même code (de préférence polaire) que celui utilisé par l'émetteur lors de l'étape de codage E9 et la séquence finale de bits gelés W_F . A l'issue de l'étape de décodage de canal E28, une séquence binaire décodée X_k est fournie en sortie du décodeur de canal du récepteur R_k .
- [0165] Lors d'une étape de combinaison E30, le récepteur R_k combine la séquence binaire décodée X_k et la séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$ en appliquant l'opérateur OU exclusif (X-OR), ce qui a pour effet d'obtenir les fragments de fichiers requis par le récepteur R_k dénotés $W_{k,b}(G \setminus \{k\}) = X_k \oplus W_{k,b,XOR,data}(G)$.
- [0166] La **figure 10** illustre de manière schématique les différentes séquences binaires formées successivement lors du décodage selon le procédé décrit ci-avant pour l'obtention des fragments de fichiers $W_{k,b}(G \setminus \{k\})$ requis par le récepteur R_k en utilisant la séquence de bits reçus Y_k , les fragments de fichiers $W_{i,b}(G \setminus \{k\})$ contenus dans la mémoire cache M_k .
- [0167] La **figure 11** illustre le débit en Mbit/s mesuré en fonction de la taille de la mémoire cache des récepteurs obtenu par le procédé selon l'invention utilisant un codage polaire en comparaison avec un procédé de codage classique. Les mesures ont été réalisées dans un système de diffusion comprenant 20 récepteurs où le canal de transmission vers chaque récepteur R_k est un canal binaire symétrique (BSC : *Binary Symmetric Channel* en anglais) avec une probabilité de croisement (*crossover probability* en anglais) égale à δ_k . Les mesures ont été effectuées dans le cas où le système comprend 10 récepteurs disposent d'une mémoire cache et ont une même probabilité de croisement $\delta=0,2431$ tandis que les 10 autres récepteurs ne disposent pas de mémoire cache et ont une même probabilité de croisement $\delta'=0,0311$. Ces résultats montrent notamment que pour une taille de mémoire cache donnée, le débit des données reçues selon le procédé de codage/décodage selon l'invention est systématiquement plus élevé qu'avec le procédé de codage/décodage classique.
- [0168] Le procédé de multidiffusion selon l'invention est mis en œuvre sur un dispositif d'émission appartenant à un réseau de communication tel qu'un réseau radiofréquence de type Wi-Fi (IEEE 802.11) ou un radio-mobile de type 4G ou 5G, et adapté à transmettre des données numériques.
- [0169] De préférence, le dispositif d'émission est constitué par un point d'accès radio ou une station de base relié à un serveur de fichiers comprenant des moyens de stockage des fichiers destinés à être diffusés.
- [0170] Le procédé d'obtention selon l'invention est mis en œuvre sur un dispositif de

réception appartenant audit réseau de communication et à adapter à recevoir et décoder les fragments de fichiers émis par le dispositif d'émission.

- [0171] De préférence, le dispositif de réception est constitué par un terminal mobile sélectionné parmi un ordinateur portable, un téléphone portable de type *smartphone*, une tablette, un objet connecté ou tout autre dispositif comprenant des moyens de réception, des moyens de stockage et des moyens de traitement pour décoder la séquence de bits reçue en provenance du dispositif d'émission.
- [0172] Dans le cas où le réseau de communication comprend une pluralité de nœuds de communication selon une architecture de type pair à pair (ou *peer-to-peer* en anglais), où chaque nœud du réseau peut jouer tour à tour le rôle d'émetteur et de récepteur. Dans ce cas, chaque nœud est adapté à mettre en œuvre les étapes du procédé de multi-diffusion lorsqu'il joue le rôle d'émetteur et les étapes du procédé d'obtention lorsqu'il joue le rôle de récepteur.
- [0173] La **figure 12** est un bloc-diagramme schématique d'un dispositif de traitement de l'information 4.0 pour la mise en œuvre d'un ou plusieurs modes de réalisation de l'invention. Le dispositif 4.0 de traitement de l'information peut être un périphérique tel qu'un micro-ordinateur, un poste de travail ou d'un terminal mobile de télécommunication. Le dispositif 4.0 comporte un bus de communication connecté à:
- [0174] - une unité centrale de traitement 4.1, tel qu'un microprocesseur, notée CPU ;
- [0175] - une mémoire à accès aléatoire 4.2, notée RAM, pour mémoriser le code exécutable du procédé de réalisation de l'invention ainsi que les registres adaptés à enregistrer des variables et des paramètres nécessaires pour la mise en œuvre du procédé de multi-diffusion et/ou du procédé d'obtention selon des modes de réalisation de l'invention, la capacité de mémoire de celui-ci peut être complétée par une mémoire RAM optionnelle connectée à un port d'extension, par exemple ;
- [0176] - une mémoire morte 4.3, notée ROM, pour stocker des programmes informatiques pour la mise en œuvre des modes de réalisation de l'invention ;
- [0177] - une interface réseau 4.4 est normalement connectée à un réseau de communication sur lequel des données numériques à traiter sont transmis ou reçus. L'interface réseau 4.4 peut être une seule interface réseau, ou composée d'un ensemble d'interfaces réseau différentes (par exemple filaire et sans fil, interfaces ou différents types d'interfaces filaires ou sans fil). Des paquets de données sont envoyés sur l'interface réseau pour la transmission ou sont lues à partir de l'interface de réseau pour la réception sous le contrôle de l'application logiciel exécuté dans le processeur 4.1 ;
- [0178] - une interface utilisateur 4.5 pour recevoir des entrées d'un utilisateur ou pour afficher des informations à un utilisateur ;
- [0179] - un support de stockage optionnel 4.6 noté HD ;
- [0180] - un module d'entrée/sortie 4.7 pour la réception / l'envoi de données depuis / vers

des périphériques externes tels que disque dur, support de stockage amovible ou autres.

- [0181] Le code exécutable peut être stocké dans une mémoire morte 4.3, sur le support de stockage 4.6 ou sur un support amovible numérique tel que par exemple un disque. Selon une variante, le code exécutable des programmes peuvent être reçu au moyen d'un réseau de communication, via l'interface réseau 4.4, afin d'être stocké dans l'un des moyens de stockage du dispositif de communication 4.0, tel que le support de stockage 4.6, avant d'être exécuté.
- [0182] L'unité centrale de traitement 4.1 est adaptée pour commander et diriger l'exécution des instructions ou des portions de code logiciel du programme ou des programmes selon l'un des modes de réalisation de l'invention, instructions qui sont stockées dans l'un des moyens de stockage précités. Après la mise sous tension, le CPU 4.1 est capable d'exécuter des instructions stockées dans la mémoire RAM principale 4.2, relatives à une application logicielle, après que ces instructions aient été chargées de la ROM par exemple. Un tel logiciel, lorsqu'il est exécuté par le processeur 4.1, provoque les étapes des organigrammes présentés dans les figures 6, 7, 8 ou 9 pour être exécutées.
- [0183] Dans ce mode de réalisation, l'appareil est un appareil programmable qui utilise un logiciel pour mettre en œuvre l'invention. Toutefois, à titre subsidiaire, la présente invention peut être mise en œuvre dans le matériel (par exemple, sous la forme d'un circuit intégré spécifique ou ASIC).
- [0184] Naturellement, pour satisfaire des besoins spécifiques, une personne compétente dans le domaine de l'invention pourra appliquer des modifications dans la description précédente.
- [0185] Bien que la présente invention ait été décrite ci-dessus en référence à des modes de réalisation spécifiques, la présente invention n'est pas limitée aux modes de réalisation spécifiques, et les modifications qui se trouvent dans le champ d'application de la présente invention seront évidentes pour une personne versée dans l'art.

Revendications

[Revendication 1] Procédé de multidiffusion de fragments manquants (W_k^p ; W_1^2, W_2^2, W_3^2) de fichiers numériques (W_k ; W_1, W_2, W_3) à un ensemble de récepteurs comprenant une pluralité de récepteurs faibles (R_i ; R_1, \dots, R_L ; R_1, R_2, R_3) comprenant chacun une mémoire cache (M_i ; M_1, \dots, M_L ; M_1, M_2, M_3) dans laquelle sont stockés un ou plusieurs fragments de fichiers numériques pré-stockés ($W_1^1, W_2^1, W_3^1, W_1^3, W_2^3, W_3^3$; $W_1^2, W_2^2, W_3^2, W_1^3, W_2^3, W_3^3$), les fragments manquants (W_k^p ; W_1^2, W_2^1, W_3^2) de fichiers destinés à être diffusés n'étant pas préalablement stockés dans la mémoire cache des récepteurs respectifs (R_i ; R_1, \dots, R_L ; R_1, R_2) requérant ces fichiers, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprenant les étapes suivantes :

- a. sélection (E1) d'un sous-ensemble (G) de récepteurs faibles ;
- b. pour chaque récepteur (R_i ; R_1, R_2) dudit sous-ensemble (G), identification (E3) d'au moins un fragment (W_i^p ; W_1^2 ; W_2^1) d'un fichier (W_i ; W_1 ; W_2) requis par ledit chaque récepteur et tel que ledit au moins un fragment (W_1^2 ; W_2^1) est présent dans la mémoire cache (M_i ; M_2) de tous les autres récepteurs faibles (R_1, R_2) appartenant audit sous-ensemble (G) ;
- c. pour chaque récepteur (R_i ; R_1, R_2) dudit sous-ensemble (G) et pour chacun dudit au moins un fragment de fichier (W_i^p ; W_1^2 ; W_2^1) identifié lors de l'étape précédente, regroupement/répartition (E5) dudit au moins un fragment du fichier en une pluralité de blocs b de taille m_i égale à la capacité de décodage dudit récepteur (R_i ; R_1, R_2) ;
- d. combinaison (E7) des blocs issus de l'étape c) de manière à fournir une séquence de bits combinés $W_{G,b}$;
- e. codage (E9) d'une séquence de bits à transmettre comprenant la séquence de bits combinés $W_{G,b}$, par application d'une technique de codage, de manière à fournir une séquence de bits codés W_c ; et
- f. envoi (E11) de ladite séquence de bits codés W_c à un ensemble de récepteurs comprenant le sous-ensemble (G) de récepteurs faibles.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que chacun desdits

blocs obtenus lors de l'étape c) est rempli par des bits "0" lors d'une étape de remplissage (E4) de sorte que la taille du bloc soit égale à la capacité de décodage maximale m_G des récepteurs faibles du sous-ensemble G.

- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que l'étape de combinaison (E7) est mise en œuvre par application de l'opérateur logique OU exclusif (X-OR).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la technique de codage utilisée lors de l'étape de codage (E9) est une technique de codage polaire configurée pour recevoir en entrée les bits de ladite séquence de bits à transmettre.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que l'étape de codage (E9) comprend une sous-étape d'ordonnancement (E9.1), lors de laquelle les bits de la séquence de bits à transmettre sont agencés par ordre croissant de leur probabilité d'erreur avant l'application de la technique de codage.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre les étapes suivantes :
- sélection (E8) d'au moins un récepteur fort (R_j) parmi ledit ensemble de récepteurs (R_1, \dots, R_K), ledit au moins un récepteur fort ne disposant pas de mémoire cache et requérant un fragment de fichier $W_{j,b}(G)$ contenu dans les mémoires cache de récepteurs faibles (R_1, \dots, R_L) du sous-ensemble G;
 - concaténation (E8.1) de la séquence de bits combinés $W_{G,b}$ avec le fragment de fichier $W_{j,b}(G)$ de manière à former la séquence de données à transmettre destinée à être codée lors de l'étape de codage (E9).
- [Revendication 7] Procédé d'obtention d'au moins un fragment de fichier à partir d'une séquence de bits reçue (Y_k) correspondant à la séquence de bits codés (W_c) émise par un émetteur conformément au procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et transmise à travers un canal de transmission, ledit procédé d'obtention étant caractérisé en ce qu'il comprend, pour chaque récepteur faible R_k appartenant au sous-ensemble G, les étapes suivantes:
- réception (E20) de ladite séquence de bits reçue (Y_k) ;
 - combinaison (E24) des fragments de fichiers destinés aux autres récepteurs faibles appartenant au sous-ensemble G, ces fragments étant stockés dans la mémoire cache M_k du récepteur faible R_k de manière à obtenir une séquence combinée $W_{k,b,XOR}(G)$;

sélection (E26) des m_k premiers bits de ladite séquence combinée $W_{k,b,XOR}(G)$, de manière à former une séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$, les bits restant de la séquence combinée formant une séquence de bits gelés $W_{k,b,XOR,frozen}$;

décodage de canal (E28) des m_k premiers bits de la séquence de bits reçue en utilisant la séquence de bits gelés $W_{k,b,XOR,frozen}$ de manière à former une séquence de bits décodés X_k , le décodage étant basé sur un code utilisé par l'émetteur T lors de l'étape de codage (E9) ;

combinaison (E30) de la séquence combinée d'information $W_{k,b,XOR,data}$ et de la séquence de bits décodée X_k de manière à obtenir les fragments de fichiers $W_{k,b}(G\setminus\{k\})$ requis par le récepteur R_k .

- [Revendication 8] Procédé de communication mis en œuvre dans un réseau comprenant une pluralité de nœuds de communication, ledit procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes du procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et/ou les étapes du procédé d'obtention selon la revendication 7.
- [Revendication 9] Dispositif de traitement de l'information comprenant des moyens pour mettre en œuvre les étapes du procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et/ou les étapes du procédé d'obtention selon la revendication 7.
- [Revendication 10] Système de multidiffusion caractérisé en ce qu'il comprend au moins un serveur configuré pour mettre en œuvre les étapes du procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et une pluralité de dispositifs clients configurés pour mettre en œuvre les étapes du procédé d'obtention selon la revendication 7.
- [Revendication 11] Programme d'ordinateur comprenant des instructions adaptées à mettre en œuvre chacune des étapes du procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et/ou les étapes du procédé d'obtention selon la revendication 7, lorsque ledit programme est exécuté sur un ordinateur.
- [Revendication 12] Moyen de stockage d'informations, amovible ou non, partiellement ou totalement lisible par un ordinateur ou un microprocesseur comportant des instructions de code d'un programme d'ordinateur pour l'exécution de chacune des étapes du procédé de multidiffusion selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 et/ou les étapes du procédé d'obtention selon la revendication 7.

[Fig. 1]

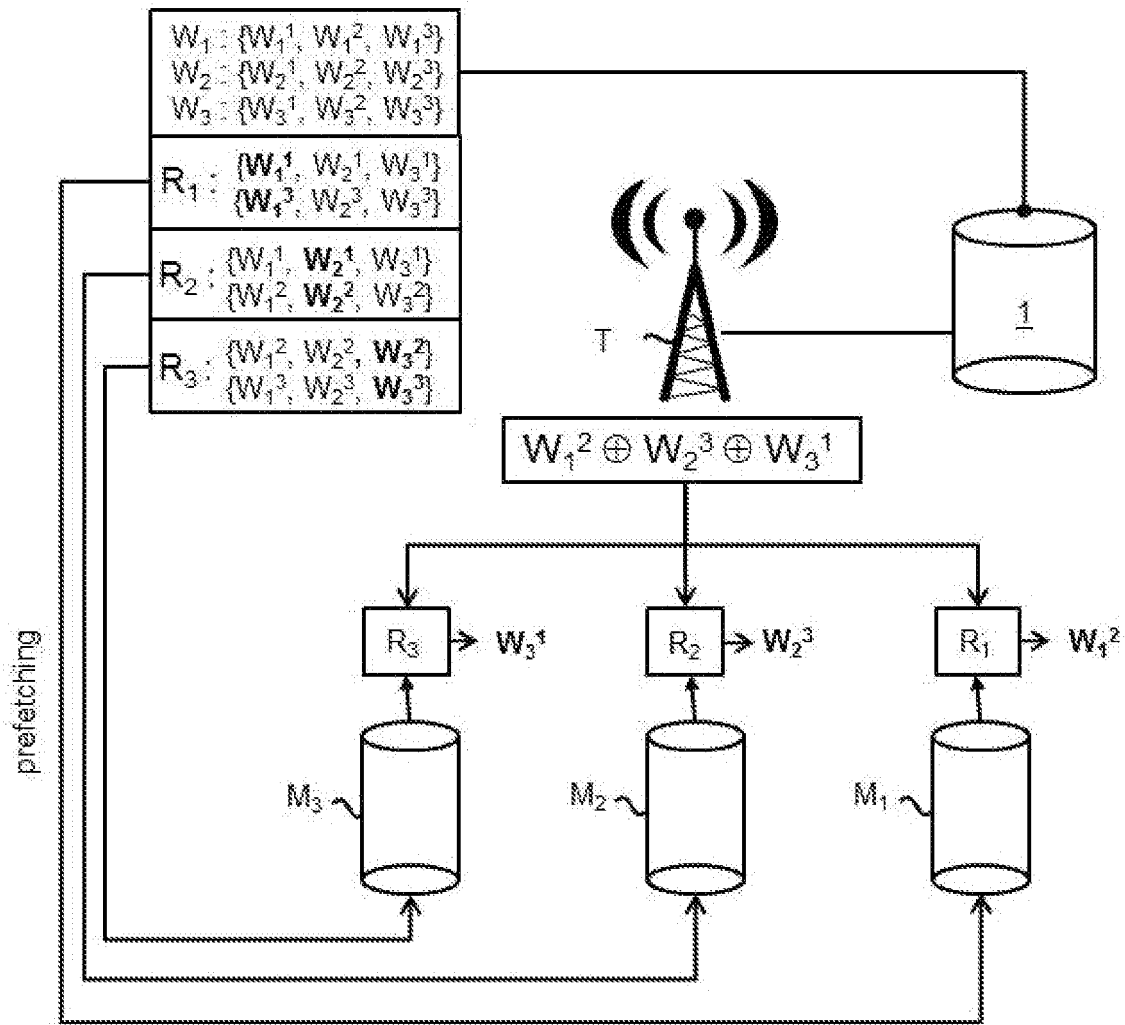


Fig. 1

[Fig. 3]

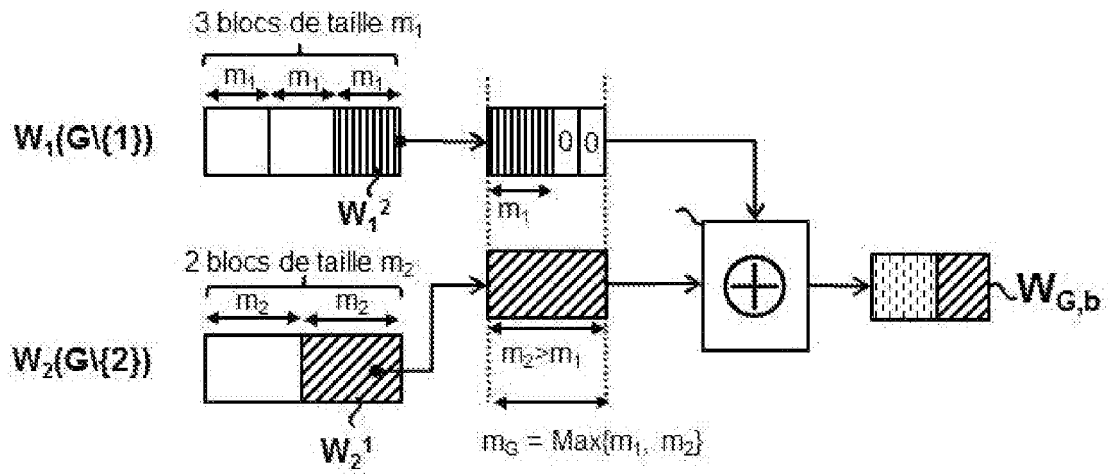


Fig. 3

[Fig. 4]

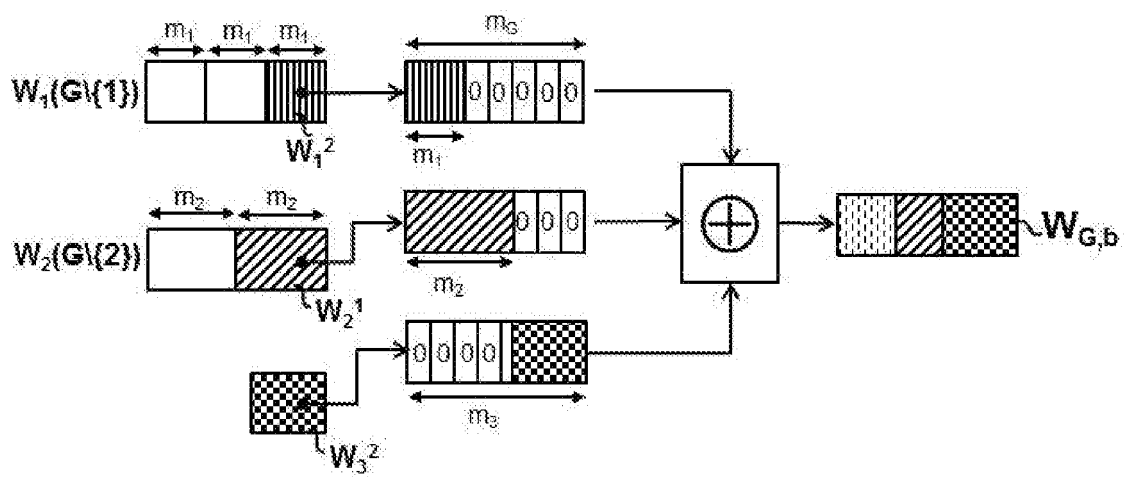


Fig. 4

[Fig. 5]

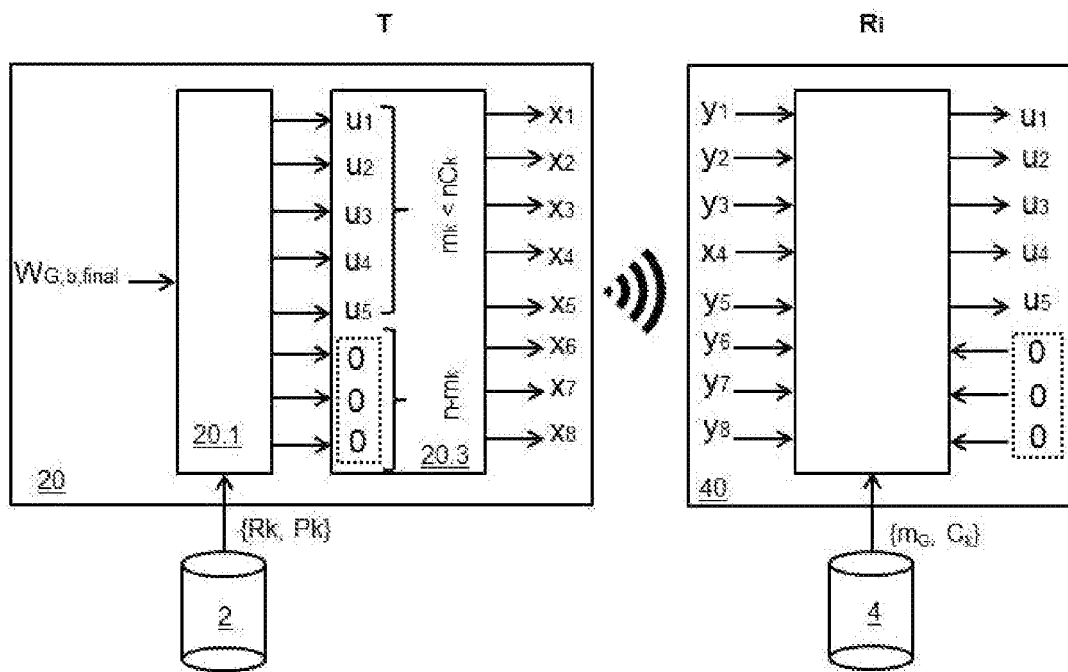


Fig. 5

[Fig. 6]

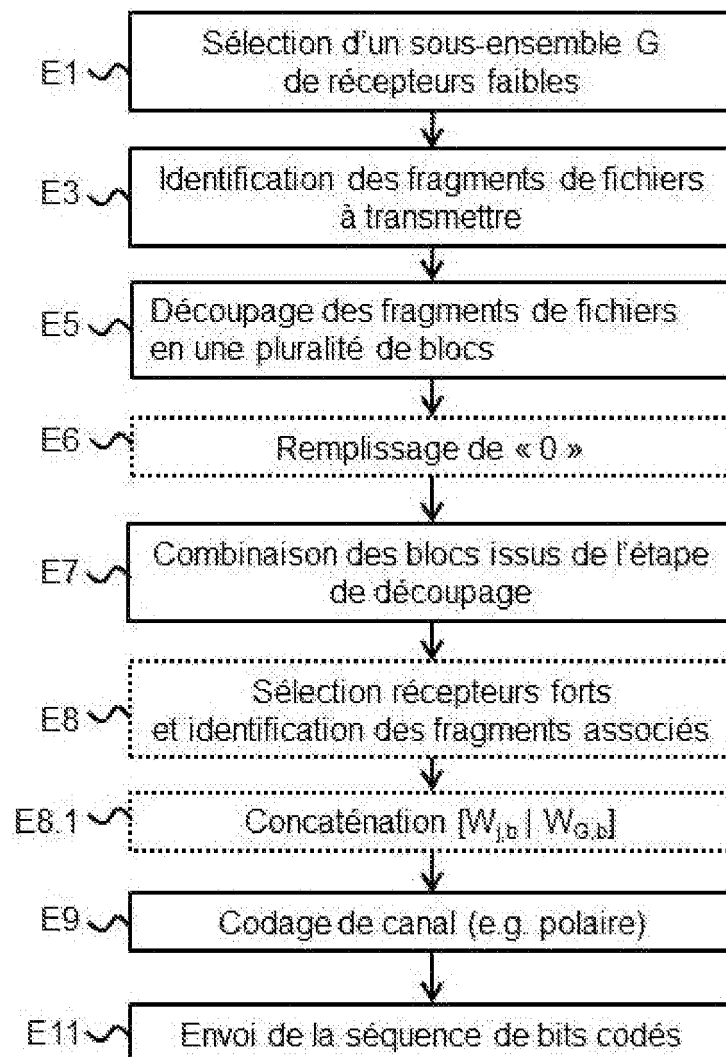


Fig. 6

[Fig. 7]

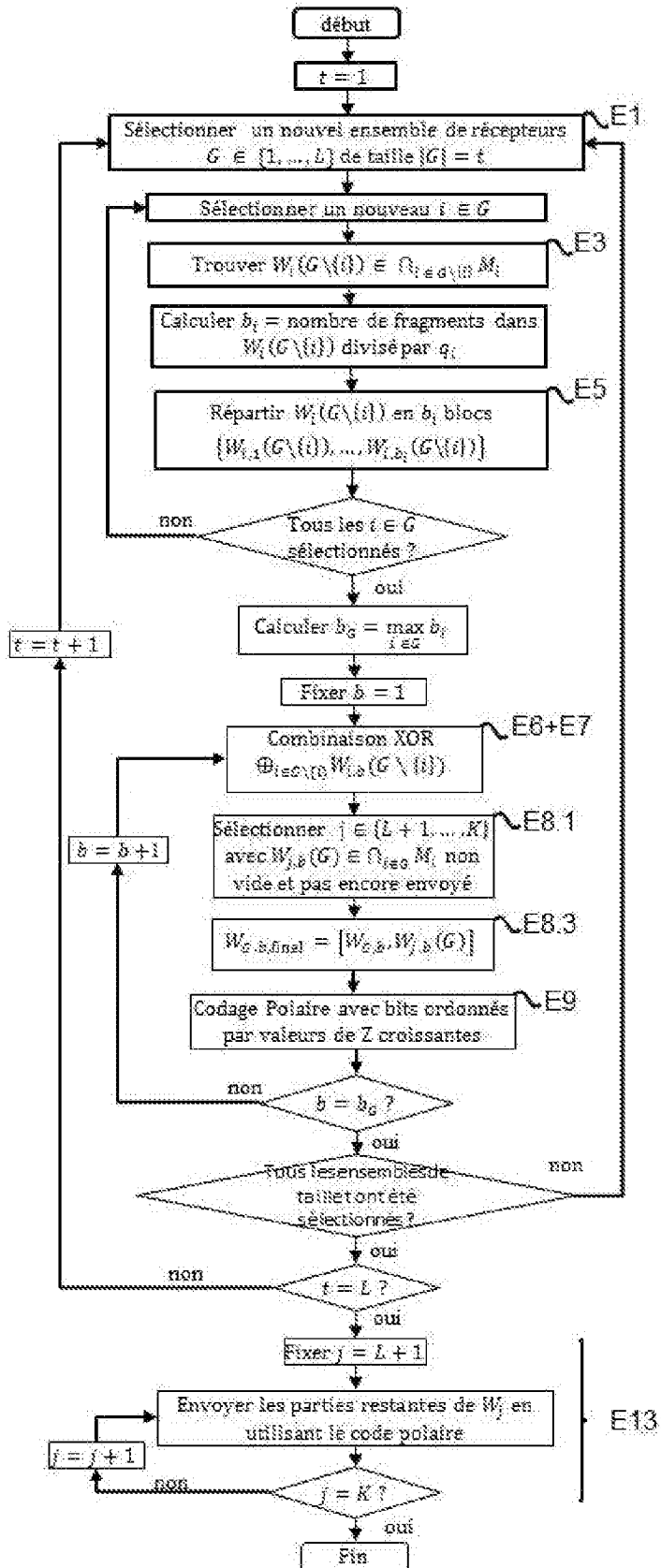


Fig. 7

[Fig. 8]

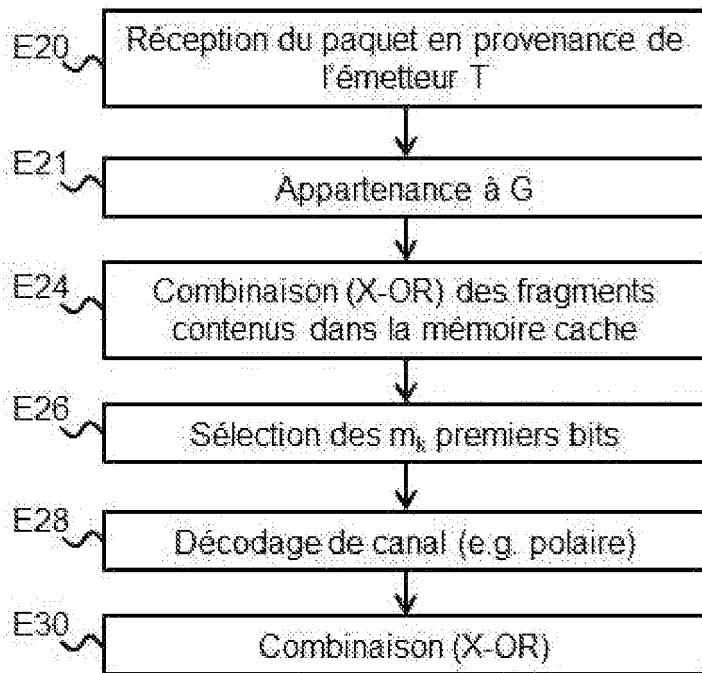


Fig. 8

[Fig. 9]

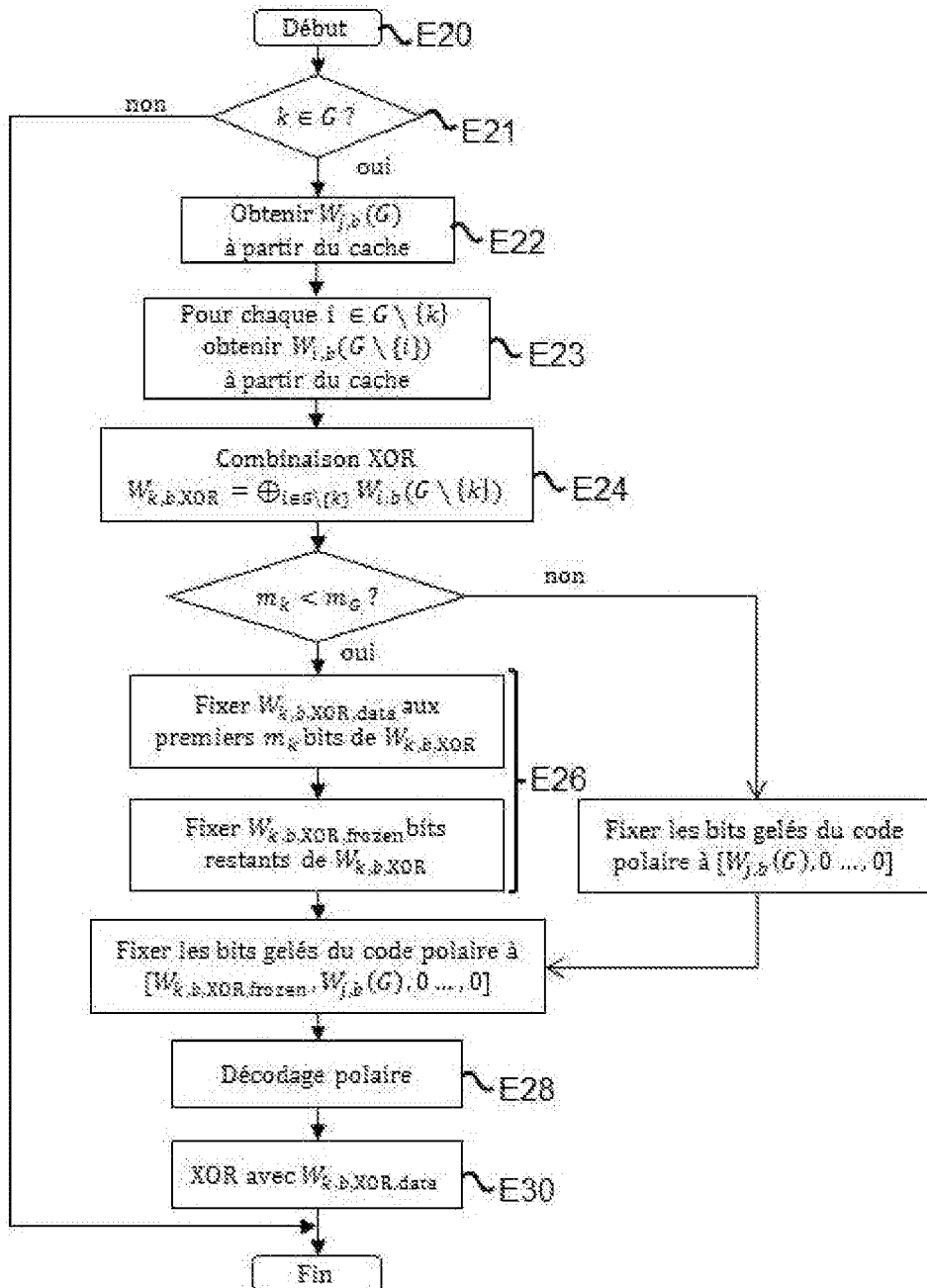


Fig. 9

[Fig. 10]

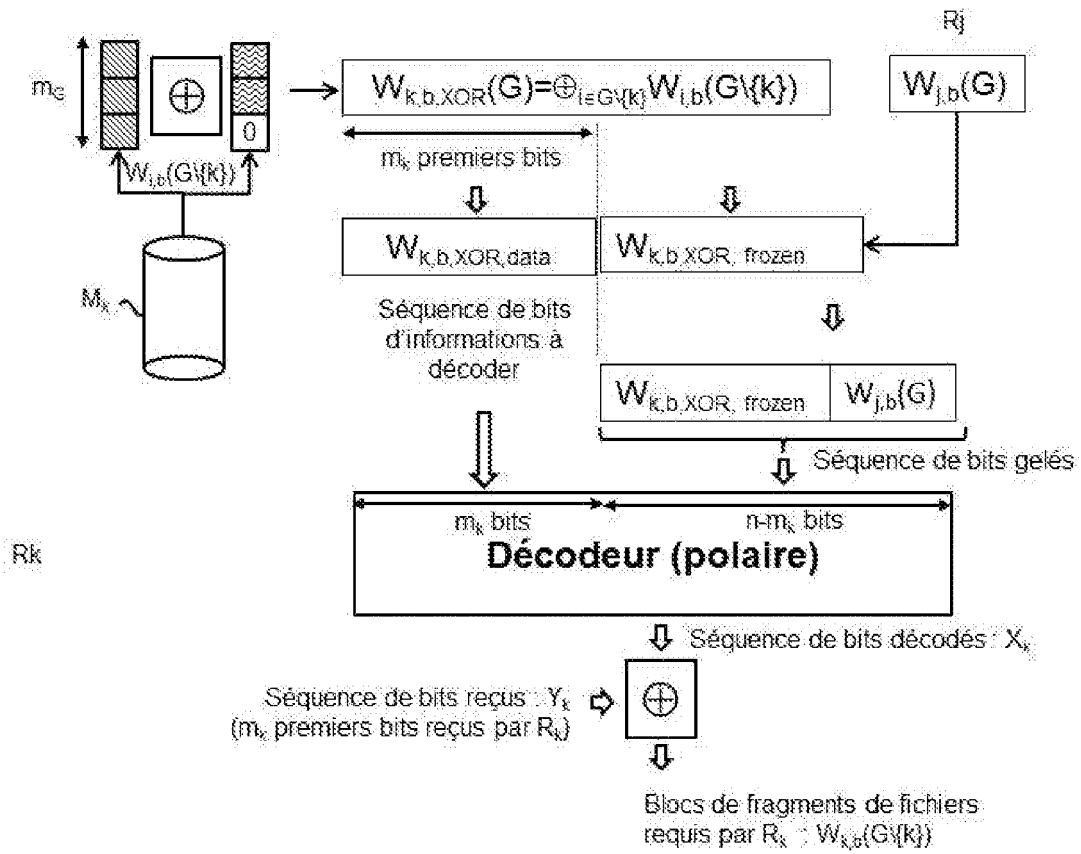


Fig. 10

[Fig. 11]

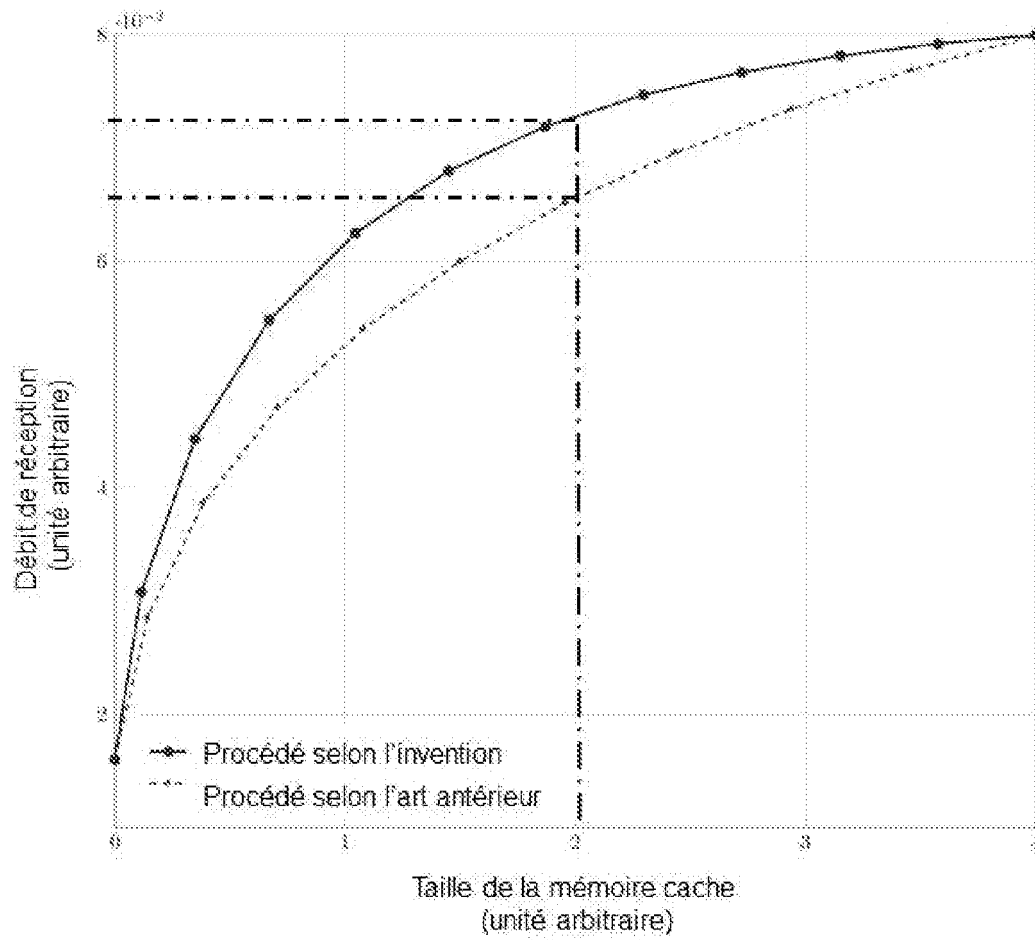


Fig. 11

[Fig. 12]

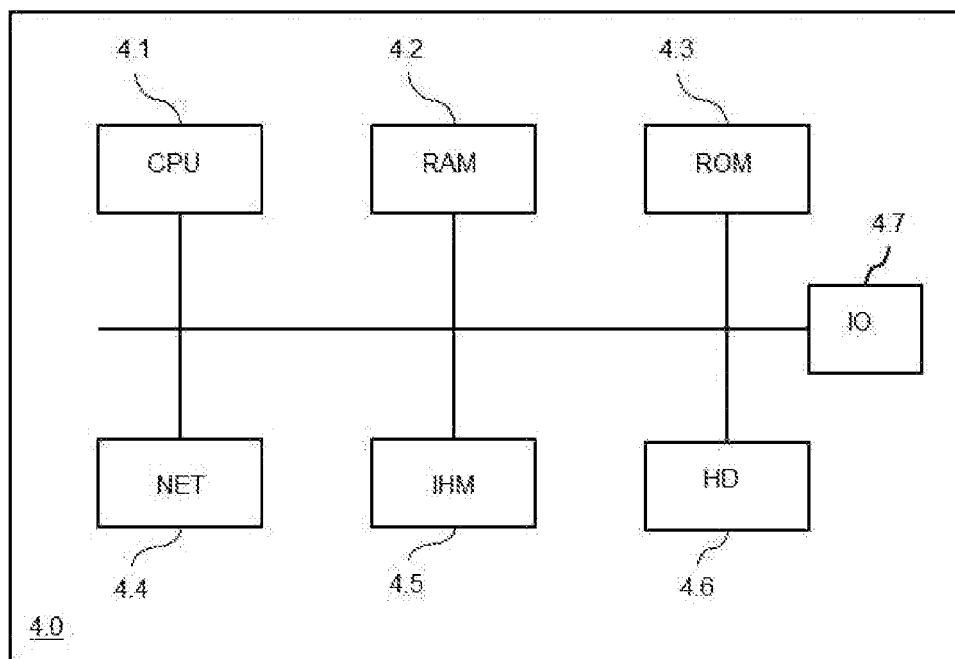


Fig. 12



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement national

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

FA 867369
FR 1903803

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		
X	US 2017/289218 A1 (TULINO ANTONIA MARIA [US] ET AL) 5 octobre 2017 (2017-10-05) * figures 1,3,4 * * alinéa [0029] * * alinéa [0061] - alinéa [0079] * -----	1-12	H04B7/005 H03M13/05 H03M13/47 H04L12/885
X	FADLALLAH YASSER ET AL: "Coding for Caching in 5G Networks", IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, US, vol. 55, no. 2, 1 février 2017 (2017-02-01), pages 106-113, XP011640280, ISSN: 0163-6804, DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600449CM [extrait le 2017-02-02] * section Caching-Aided Coded Multicasting; page 108 - page 109; figure 2 * -----	1-12	
X	US 2018/054716 A1 (CHOI WAN [KR] ET AL) 22 février 2018 (2018-02-22) * alinéa [0027] - alinéa [0058] * * figures 2-5 * -----	1-12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H04L H04W
X	APOSTOLOS DESTOUNIS ET AL: "Adaptive Coded Caching for Fair Delivery over Fading Channels", ARXIV.ORG, CORNELL UNIVERSITY LIBRARY, 201 OLIN LIBRARY CORNELL UNIVERSITY ITHACA, NY 14853, 7 février 2018 (2018-02-07), XP080856134, * page 2 - page 4 * -----	1-12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
6 décembre 2019		Chehade, Thomas	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1903803 FA 867369**

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 **06-12-2019**

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
US 2017289218 A1	05-10-2017	AUCUN	

US 2018054716 A1	22-02-2018	AUCUN	
