

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
COURBEVOIE

①1 N° de publication : **3 131 149**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **21 14059**  
⑤1 Int Cl<sup>8</sup> : **H 04 B 7/08 (2022.01), H 04 B 1/10, H 04 L 27/14**

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

②2 Date de dépôt : 21.12.21.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 23.06.23 Bulletin 23/25.

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) : *THALES Société anonyme* — FR.

⑦2 Inventeur(s) : MILLE Kévin, PIPON François et KER-JEAN Bruno.

⑦3 Titulaire(s) : THALES Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : ATOUT PI LAPLACE.

⑤4 **PROCEDE DE TRAITEMENT D UN SIGNAL ANALOGIQUE MODULE EN FREQUENCE DANS UN RECEPTEUR DE COMMUNICATION SANS FIL, PROGRAMME D ORDINATEUR ET RECEPTEUR DE COMMUNICATION SANS FIL ASSOCIE.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un récepteur (10) comprenant Q antennes de réception (A1, ..., AQ) associées respectivement à Q voies de traitement (CH1, ..., CHQ) associées chacune à une antenne respective, ledit procédé comprenant, sur chaque voie q,

i/ l'échantillonnage du signal reçu et l'obtention, par transposition dudit signal échantillonné en bande de base, des échantillons complexes ;ii/ l'obtention d'une première estimation des valeurs de signal utile en fonction desdits échantillons complexes ;iii/ l'estimation du rapport signal sur bruit en calculant, avec, et, où N est un entier fixé ;

une seconde estimation du signal utile étant déterminée en fonction des Q estimations du rapport signal sur bruit, q= 1 à Q et en fonction d'au moins une desdites premières estimations obtenues du signal utile, q = 1 à Q.

Figure pour l'abrégié: Fig. 1

FR 3 131 149 - A1



## Description

### **Titre de l'invention : Procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un récepteur de communication sans fil, programme d'ordinateur et récepteur de communication sans fil associés.**

#### **Domaine technique**

- [0001] L'invention se situe dans le domaine de la communication sans fil mettant en œuvre des modulations de fréquence.
- [0002] Plus exactement, l'invention se rapporte à un procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un récepteur de communications sans fil, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
- réception dudit signal analogique modulé en fréquence par un signal utile ;
  - traitement dudit signal reçu comprenant une démodulation en fréquence dudit signal analogique reçu.

#### **Technique antérieure**

- [0003] La technique de modulation analogique par modulation de fréquence (FM) est communément utilisée pour des missions de type ISR (renseignement/surveillance/reconnaissance) ou CAS (appui aérien rapproché). Il existe des équipements de transmission par exemple qui disposent historiquement d'un mode de transmission de vidéos analogiques au standard NTSC ou PAL, modulées en fréquence. C'est un mode de transmission très utilisé par les forces d'intervention notamment, pour des raisons d'interopérabilité.
- [0004] La modulation analogique en modulation de fréquence est toutefois peu robuste au bruit du canal de propagation.

#### **Résumé de l'invention**

- [0005] A cet effet, suivant un premier aspect, la présente invention décrit un procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un récepteur de communications sans fil tel que mentionné plus haut caractérisé en ce que , le récepteur comprenant Q antennes de réception et Q voies de traitement associées chacune à une antenne respective, avec  $Q \geq 2$ , les étapes suivantes sont mises en œuvre sur chaque voie de traitement n° q du récepteur,  $q = 1$  à Q pour obtenir le signal démodulé :
- i/ ladite réception comprend la réception, par chacune des antennes associées aux voies, du signal analogique modulé en fréquence, et ledit traitement comprend, sur chaque voie q, l'échantillonnage du signal reçu par l'antenne associée à la voie q et l'obtention, par transposition dudit signal échantillonné en bande de base, des

échantillons complexes  $m_q(n)$  ;

ii/ obtention, sur chaque voie q, d'une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q ;

iii/ sur chaque voie q, estimation du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  en calculant

$$R\hat{S}B_q = \frac{S_q}{2 \cdot B_q}, \text{ avec } S_q = \text{mod\_moy}_q^2,$$

$$B_q = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \left( \text{mod\_moy}_q - |m_q(n)| \right)^2 \text{ et}$$

$$\text{mod\_moy}_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N |m_q(n)|^2}, \text{ où } N \text{ est un entier fixé ;}$$

iv/ puis détermination d'une seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile en fonction des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ ,  $q=1$  à Q et en fonction d'au moins une desdites premières estimations obtenues  $\hat{s}_q(n)$  du signal utile,  $q=1$  à Q.

[0006] Un tel traitement permet d'obtenir en sortie du récepteur, un signal plus robuste.

[0007] Dans des modes de réalisation, un tel procédé comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :

- le procédé comprend, à l'étape iv/, une étape de comparaison entre elles des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ ,  $q=1$  à Q, puis une étape de détermination, en fonction de ladite comparaison, de quelle est la voie  $q_0$  parmi les voies 1 à Q sur laquelle le rapport signal sur bruit estimé est le plus grand, et la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile est déterminée comme égale à ladite première estimation obtenue  $\hat{s}_{q_0}(n)$  du signal utile ;
- à l'étape iv/, on détermine la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile, pour  $n \in [1; N]$  en calculant :

$$\hat{s}(n) = \sum_{q=1}^Q \frac{R\hat{S}B_q}{R\hat{S}B_{tot}} \cdot \hat{s}_q(n) \text{ avec } R\hat{S}B_{tot} = \sum_{q=1}^Q R\hat{S}B_q ;$$

- à l'étape ii, on obtient sur chaque voie q, une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q, par la formule suivante :

$$\hat{s}_q(n) = \frac{F_e}{2\pi \cdot \Delta f} \cdot \arg \left( m_q(n) \cdot m_q(n-1)^* \right), \quad q \in [1; Q] \text{ où } \Delta f \text{ est}$$

l'excursion de fréquence du signal modulé et  $F_e$  la fréquence d'échantillonnage ;

- le signal utile comprend une vidéo analogique au standard PAL ou NTSC.

[0008] Suivant un autre aspect, l'invention décrit un programme d'ordinateur destiné à être stocké dans la mémoire d'un récepteur de communication sans fil d'un signal

analogique modulé en fréquence et comprenant en outre un microcalculateur, ledit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées sur le microcalculateur, mettent en œuvre les étapes i, ii, iii et iv d'un procédé suivant le premier aspect de l'invention.

[0009] Suivant un autre aspect, l'invention décrit un récepteur de communications sans fil adapté pour traiter un signal de communication analogique modulé en fréquence, ledit récepteur étant adapté pour recevoir le signal analogique modulé en fréquence par un signal utile et ledit traitement du signal reçu comprenant une démodulation en fréquence dudit signal analogique reçu ;

ledit récepteur étant caractérisé en ce qu'il comprend Q antennes de réception adaptées chacune pour recevoir le signal analogique modulé en fréquence et Q voies de traitement associées chacune à une antenne respective, avec  $Q \geq 2$ , et en ce que le traitement par le récepteur sur chaque voie de traitement q,  $q = 1$  à Q, comprend :

i/ l'échantillonnage du signal reçu et l'obtention, par transposition dudit signal échantillonné en bande de base, des échantillons complexes  $m_q(n)$  ;

ii/ l'obtention, sur chaque voie q, d'une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q ;

iii/ sur chaque voie q, estimation du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  en calculant

$$R\hat{S}B_q = \frac{S_q}{2 \cdot B_q}, \text{ avec } S_q = \text{mod\_moy}_q^2,$$

$$B_q = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \left( \text{mod\_moy}_q - |m_q(n)| \right)^2 \text{ et}$$

$$\text{mod\_moy}_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N |m_q(n)|^2}, \text{ où N est un entier fixé ;}$$

le récepteur étant adapté pour déterminer une seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile en fonction des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ ,  $q=1$  à Q et en fonction d'au moins une desdites premières estimations obtenues  $\hat{s}_q(n)$  du signal utile,  $q = 1$  à Q.

[0010] Dans des modes de réalisation, un tel récepteur comprendra en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :

- le récepteur est adapté pour comparer entre elles les Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ ,  $q=1$  à Q, et pour déterminer, en fonction de ladite comparaison, quelle est la voie  $q_0$  parmi les voies 1 à Q sur laquelle le rapport signal sur bruit estimé est le plus grand, et pour déterminer la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile comme égale à ladite première estimation obtenue  $\hat{s}_{q_0}(n)$  du signal utile ;

- le récepteur de communications sans fil est adapté pour déterminer la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile, pour  $n \in [1; N]$  en calculant :

$$\hat{s}(n) = \sum_{q=1}^Q \frac{R\hat{S}B_q}{R\hat{S}B_{tot}} \cdot \hat{s}_q(n) \quad \text{avec} \quad R\hat{S}B_{tot} = \sum_{q=1}^Q R\hat{S}B_q ;$$

- sur chaque voie q, le traitement par ledit récepteur comprend une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q, par la formule suivante :

$$\hat{s}_q(n) = \frac{F_e}{2\pi \cdot \Delta f} \cdot \arg(m_q(n) \cdot m_q(n-1)^*) , \quad q \in [1; Q] \quad \text{où } \Delta f \text{ est}$$

l'excursion de fréquence du signal modulé et  $F_e$  la fréquence d'échantillonnage.

### **Brève description des dessins**

- [0011] L'invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques, détails et avantages apparaîtront mieux à la lecture de la description qui suit, donnée à titre non limitatif, et grâce aux figures annexées, données à titre d'exemple.
- [0012] [Fig.1] La [Fig.1] est une illustration d'un récepteur de communication sans fil dans un mode de réalisation ;
- [0013] [Fig.2] La [Fig.2] représente les étapes d'un procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un mode de réalisation de l'invention ;
- [0014] [Fig.3] La [Fig.3] représente des images reconstituées dans un mode de réalisation de l'invention avec différents rapports signal sur bruit et différentes configurations antennaires ;
- [0015] [Fig.4] La [Fig.4] représente des images reconstituées dans un mode de réalisation de l'invention avec différentes configurations antennaires.
- [0016] Des références identiques peuvent être utilisées dans des figures différentes lorsqu'elles désignent des éléments identiques ou comparables.

### **Description des modes de réalisation**

- [0017] La [Fig.1] représente un système de communication sans fil comprenant un ou plusieurs émetteurs de modulation de fréquence analogique, par exemple l'émetteur 11 et un ou plusieurs récepteurs de modulation de fréquence analogique, par exemple le récepteur 10 de communication sans fil, qui implémente un mode de réalisation de l'invention.
- [0018] De façon connue, un signal utile, nommé  $s(t)$ , est fourni en entrée de l'émetteur 11. Ce dernier comprend un modulateur qui est adapté pour utiliser ce signal utile et une porteuse de fréquence  $f_p$  (la fréquence  $f_p$  étant bien plus élevée que la fréquence du signal utile), connue de l'émetteur et du (ou des) récepteur et transformer les variations dans le temps du signal utile  $s(t)$  en variations proportionnelles de la fréquence ins-

tantanée du signal émis  $S_{FM}(t)$  sur la base de la porteuse, puis pour émettre  $S_{FM}(t)$  par l'intermédiaire d'une antenne d'émission A0 sur le canal de propagation correspondant à la porteuse.

[0019] Le signal réel  $S_{FM}(t) = A_p \cdot \cos[2\pi \cdot f(t) \cdot t]$ ,  $A_p$  étant une constante,  $f(t)$  étant la fréquence instantanée, peut s'écrire, de façon connue :

$$S_{FM}(t) = A_p \cdot \cos\left[2\pi \cdot f_p \cdot t + 2\pi \cdot \Delta f \cdot \int_0^t s(\tau) d\tau\right] \text{ Avec } s(t) \text{ le signal utile, et } \Delta f \text{ l'excursion de fréquence.}$$

[0020] Le signal analogique modulé en fréquence  $S_{FM}(t)$  ainsi émis se propage depuis l'antenne A0.

[0021] On notera que la fréquence de la porteuse émise peut prendre des valeurs diverses, en HF, VHF, UHF, bandes L, C ... et que le signal utile peut lui aussi être de nature variée : audio, vidéo, données autres ...

Le signal utile  $s$ , que l'on transmet ainsi en faisant, dans l'émetteur 11, varier la fréquence du signal émis  $S_{FM}$  est analogique et la porteuse est analogique. Le signal modulé analogique, ici  $S_{FM}(t)$ , résultant de la transformation de la porteuse par le signal utile  $s(t)$ , est continu et peut prendre n'importe quelle valeur (dans une plage donnée). Le signal analogique modulé en fréquence  $S_{FM}(t)$  est ensuite reçu par le récepteur de modulation FM analogique 10 dans un mode de mise en œuvre de l'invention.

[0022] Le récepteur de modulation FM analogique 10 comprend Q antennes de réception  $A_q$ ,  $q = 1$  à Q, adaptées pour recevoir le signal issu de l'émission de  $S_{FM}(t)$ , Q étant un entier supérieur ou égal à 2, Q voies de traitement  $CH_q$  et un module de détermination du signal démodulé 24.

[0023] La chaîne de traitement  $CH_q$ ,  $q = 1$  à Q, est adaptée pour recevoir en entrée le signal délivré par l'antenne  $A_q$  et comporte un module électronique Convertisseur Analogique Numérique (CAN) 20<sub>q</sub>, un module électronique transposeur de fréquence 21<sub>q</sub>, un module électronique de démodulation FM numérique 22<sub>q</sub> et un module électronique d'estimation du rapport signal sur bruit 23<sub>q</sub>.

[0024] Le CAN 20<sub>q</sub> est adapté pour effectuer une numérisation (i.e. échantillonnage et quantification) du signal reçu par l'antenne  $A_q$  à la fréquence d'échantillonnage  $F_e$ .

[0025] Le module électronique transposeur de fréquence 21<sub>q</sub> est adapté pour, de façon connue, transposer le signal ainsi numérisé par le CAN 20<sub>q</sub> de la fréquence  $f_p$  en bande de base et pour délivrer des échantillons complexes  $m_q(n)$  (les parties réelles et imaginaires correspondant aux sorties des voies respectivement en phase et en quadrature du transposeur de fréquence).

- [0026] Le module électronique de démodulation FM numérique 22\_q est adapté pour effectuer une démodulation FM à partir des échantillons complexes  $m_q(n)$  fournis par le transposeur de fréquence 21\_q et délivrer le signal numérisé démodulé  $\hat{s}_q(n)$ .
- [0027] Le module électronique d'estimation du rapport signal sur bruit 23\_q est adapté pour effectuer une estimation du rapport signal sur bruit,  $R\hat{S}B_q$ , du signal reçu sur la voie q en fonction des échantillons complexes  $m_q(n)$  fournis par le transposeur de fréquence 21\_q.
- [0028] Le module de détermination du signal démodulé 24 est adapté pour collecter en entrée les signaux numérisés démodulés  $\hat{s}_q(n)$  et les rapports signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  obtenus sur les voies  $CH_q$ ,  $q = 1$  à  $Q$  et pour déterminer une estimation du signal utile  $\hat{s}(n)$  à partir de ces éléments collectés.
- [0029] Le détail des opérations effectuées par le récepteur de modulation FM analogique 10 est maintenant décrit en référence à la [Fig.2], illustrant les étapes d'un procédé 100 de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence qui est mis en œuvre, dans un mode de réalisation, par le récepteur 10.
- [0030] Dans une étape 101, chaque antenne  $A_q$  reçoit une onde issue de l'émission du signal  $S_{FM}(t)$  et la transforme en signal électrique,  $q = 1$  à  $Q$ ; sur chaque voie  $CH_q$ , ce signal est échantillonné par le CAN 20\_q à la fréquence  $F_e$ , puis les échantillons résultants subissent une transposition en bande de base effectuée par le transposeur de fréquence 21\_q, qui délivre les échantillons complexes issus de cette transposition; on considère un ensemble d'échantillons complexes successifs ainsi obtenus, notés  $m_q(n)$ ,  $n = 1$  à  $N$ ,  $N$  est un entier définissant la taille de la fenêtre d'intérêt (par exemple  $N$  est choisi entre 100 et 1000); la valeur de  $N$  est réglée en fonction du temps de cohérence du canal de propagation.
- [0031] Dans une étape 102, sur chaque voie  $CH_q$ , le module électronique de démodulation FM numérique 22\_q calcule les échantillons réels  $\hat{s}_q(n)$  du signal numérisé démodulé à partir des échantillons complexes  $m_q(n)$ , en appliquant la formule suivante :
- $$\hat{s}_q(n) = \frac{F_e}{2\pi \cdot \Delta f} \cdot \arg(m_q(n) \cdot m_q(n-1)^*), \quad q \in [1; Q] \text{ formule (1)}$$
- [0032] où :
- $F_e$  est la fréquence d'échantillonnage des CAN 20\_q, en ech/s;  $\Delta f$  est l'excursion de fréquence, en Hz/V de  $S_{FM}(t)$ ;
- $( )^*$  est la fonction « conjugué complexe ».
- [0033] En effet en notant  $s(n)$  : qui correspondrait à des échantillons réels du signal  $s$  en

entrée du modulateur,  $b_q(n)$  : échantillons complexes de bruit additif en entrée du démodulateur, sur la voie de réception d'indice  $q$ ,

on a :

$$m_q(n) = e^{i2\pi \frac{\Delta f}{F_e} \sum_{k=1}^n s(k)} + b_q(n).$$

Et donc :

$$m_q(n+1) = e^{i2\pi \frac{\Delta f}{F_e} \sum_{k=1}^{n+1} s(k)} + b_q(n+1).$$

En négligeant le bruit

$b_q(n)$ , on remarque que :

$$m_q(n+1) \cdot m_q(n)^* \approx e^{i2\pi \frac{\Delta f}{F_e} s(n+1)}$$

et on en déduit la

Formule (1).

[0034] Dans une étape 103, qui, suivant les modes de réalisation, se déroule avant ou en parallèle ou après l'étape 102, sur chaque voie de réception  $CH_q$ , le module d'estimation du rapport signal sur bruit 23<sub>q</sub> estime le rapport signal sur bruit,  $R\hat{S}B_q$ , en fonction des échantillons complexes  $m_q(n)$  fournis par le transposeur de fréquence 21<sub>q</sub> en appliquant la formule suivante :

$$R\hat{S}B_q = \frac{S_q}{2 \cdot B_q} \text{ formule (2)}$$

[0035] En effet, comme la modulation FM est à enveloppe constante, on peut estimer le rapport signal sur bruit en mesurant la dispersion du module instantanée.

$$\text{En notant : } mod\_moy_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N |m_q(n)|^2},$$

l'estimation de la puissance du signal est  $S_q = mod\_moy_q^2$ .

L'estimation de la puissance du bruit est

$$B_q = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N (mod\_moy_q - |m_q(n)|)^2.$$

On obtient alors pour estimation du rapport signal sur bruit la formule (2), sur la base du signal analogique FM numérisé reçu sur la voie  $q$  :

[0036] Dans une étape 104, le module de détermination du signal démodulé 24 détermine une estimation du signal utile  $\hat{s}(n)$  en fonction des signaux numérisés démodulés  $\hat{s}_q(n)$  et des rapports signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  obtenus sur les voies  $CH_q$ ,  $q = 1$  à  $Q$ .

[0037] Dans un mode de réalisation de cette étape 104 (étape 104\_1), le module de détermination du signal démodulé 24 compare entre eux les  $R\hat{S}B_q$  pour  $q = 1$  à  $Q$ , pour déterminer le plus fort rapport signal sur bruit parmi les  $Q$  valeurs, et il sélectionne le signal démodulé  $\hat{s}_{q0}(n)$  qui correspond à la voie de réception ( $CH_{q0}$ ) possédant le plus fort rapport signal sur bruit parmi les  $Q$  voies : l'estimation du signal utile  $\hat{s}(n)$  délivrée en sortie du démodulateur FM 10 est alors choisie égale à  $\hat{s}_{q0}(n) : \hat{s}(n) =$

$\hat{s}_{q0}(n)$  Suivant les modes de réalisation, on sélectionne les N échantillons  $\hat{s}_{q0}(n)$ ,  $n = 1$  à N comme échantillons de sortie du démodulateur, ou ces étapes sont répétées pour chaque échantillon en considérant à chaque fois une fenêtre de taille N comprenant les N-1 échantillons le précédant et lui-même.

[0038] Dans un autre mode de réalisation de cette étape 104 (étape 104\_2), le module de détermination du signal démodulé 24 effectue une recombinaison MRC (Maximal Ratio Combining) des Q voies de réception pondérées par les rapports signal sur bruit respectifs.

[0039] Pour ce faire, il calcule une estimation du rapport signal sur bruit total :

$$R\hat{S}B_{tot} = \sum_{q=1}^Q R\hat{S}B_q$$

Puis il calcule la recombinaison MRC :

$$\hat{s}(n) = \sum_{q=1}^Q \frac{R\hat{S}B_q}{R\hat{S}B_{tot}} \cdot \hat{s}_q(n), \quad n \in [1; N]$$

et délivre alors cette valeur en sortie

du démodulateur FM 10.

Comme ci-dessus, les fenêtres de taille N se succèdent ou se chevauchent suivant les modes de réalisation.

[0040] Un récepteur de modulation FM selon l'invention permet d'améliorer les performances de réception et la qualité du signal délivré en sortie du récepteur FM, notamment en le rendant plus robuste au bruit du canal de propagation, au masquage d'antenne et au dépointage d'antenne.

[0041] Dans un mode de réalisation, le récepteur de communication 10 comprend une mémoire dans lequel sont stockées des instructions logicielles et un microprocesseur ; et certaines au moins des fonctions des blocs CAN 20\_q, de transposition de fréquence 21\_q, de démodulation numérique 22\_q, d'estimation du rapport signal sur bruit 23\_q et/ou de détermination de  $\hat{s}(n)$  24 sont mises en œuvre suite à l'exécution sur le microprocesseur desdites instructions logicielles,  $q=1$  à Q.

[0042] La [Fig.3] illustre les résultats obtenus par la mise en œuvre de l'invention avec un récepteur avec recombinaison MRC (étape 104\_2) et comprenant  $Q = 4$  antennes (colonne de droite) comparé à la réception avec une seule antenne (colonne de gauche) pour différentes valeurs de rapport signal sur bruit. Trois rangs d'images sont présentés : un rang supérieur, un rang intermédiaire et un rang inférieur. Les images du rang intermédiaire correspondent à un RSB de 3 dB de plus que le RSB, nommé RSB0, des images du rang supérieur ; les images du rang inférieur correspondent à un RSB de 6 dB de plus que les images du rang supérieur. La [Fig.3] illustre un cas où les 4 voies sont homogènes en termes de RSB. Le signal utile considéré ici est une mire vidéo analogique, PAL ou NTSC, qui se trouve donc numérisée par le récepteur en

suite d'images matricielles.

- [0043] Ainsi pour les images de RSB égal à  $RSB_0$  (rang supérieur), la perte de certaines lignes est à signaler dans l'image  $IM_{0_{SISO}}$  obtenue avec une seule antenne tandis que l'image est correcte dans l'image  $IM_{0_{SIMO}}$  obtenue dans le récepteur dans un mode de réalisation de l'invention avec 4 antennes.
- [0044] Pour les images avec un rapport signal à bruit égal à  $RSB_0 + 3$  dB (rang intermédiaire), des erreurs de synchronisation sur certaines lignes apparaissent dans l'image  $IM_{3_{SISO}}$  obtenue avec une seule antenne tandis que l'image est correcte dans l'image  $IM_{3_{SIMO}}$  obtenue dans le récepteur dans un mode de réalisation de l'invention avec 4 antennes.
- [0045] Pour un rapport signal à bruit égal à  $RSB_0 + 6$  dB (rang inférieur), l'image  $IM_{6_{SISO}}$  obtenue est correcte avec une seule antenne ainsi que l'image  $IM_{6_{SIMO}}$  obtenue dans le récepteur dans un mode de réalisation de l'invention avec 4 antennes. On note, dans un mode de réalisation de l'invention, un gain de 6 dB avec un récepteur avec  $Q = 4$  antennes et utilisant la recombinaison MRC par rapport au résultat obtenu avec une seule antenne. On note, dans un mode de réalisation de l'invention, un gain de 3 dB, par rapport au résultat obtenu avec une seule antenne, avec un récepteur avec  $Q = 2$  antennes et utilisant la recombinaison MRC.
- [0046] La [Fig.4] illustre les résultats obtenus par la mise en œuvre de l'invention avec des voies hétérogènes en termes de RSB dans un récepteur avec recombinaison MRC (étape 104\_2) et comprenant  $Q = 2$  antennes (image de droite) comparé à la réception avec une seule antenne (image de gauche).
- [0047] L'image  $IM_{SISO}$  est l'image obtenue dans le cas d'un rapport signal sur bruit égal à  $RSB_0 - 10$  dB dans le cas d'une seule antenne ; l'image  $IM_{SIMO}$  est l'image obtenue selon l'invention dans le cas d'un rapport signal sur bruit égal à  $RSB_0 - 10$  dB sur une des deux voies et d'un rapport signal sur bruit égal à  $RSB_0 + 10$  dB sur l'autre voie : si une voie reçoit un signal nettement plus faible qu'une autre voie dans un récepteur selon l'invention, suite à un masquage ou à un dépointage d'antenne par exemple, la recombinaison MRC (étape 104\_2) surpondère automatiquement alors la meilleure voie de réception.

## Revendications

[Revendication 1]

Procédé de traitement d'un signal analogique modulé en fréquence dans un récepteur (10) de communications sans fil, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- réception par ledit récepteur (10) dudit signal analogique (  $S_{FM}(t)$  ) modulé en fréquence par un signal utile (s) ;
- traitement dudit signal reçu comprenant une démodulation en fréquence dudit signal analogique reçu ;

ledit procédé étant caractérisé en ce que, le récepteur (10) comprenant Q antennes de réception ( $A_1, \dots, A_Q$ ) et Q voies de traitement (CH1, ..., CHQ) associées chacune à une antenne respective, avec  $Q \geq 2$ , les étapes suivantes sont mises en œuvre sur chaque voie de traitement n° q du récepteur, q = 1 à Q pour obtenir le signal démodulé :

- i/ ladite réception comprend la réception, par chacune des antennes associées aux voies, du signal analogique modulé en fréquence, et ledit traitement comprend, sur chaque voie q, l'échantillonnage du signal reçu par l'antenne associée à la voie q et l'obtention, par transposition dudit signal échantillonné en bande de base, des échantillons complexes  $m_q(n)$  ;
- ii/ obtention, sur chaque voie q (CHq), d'une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q ;

- iii/ sur chaque voie q, estimation du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  en calculant  $R\hat{S}B_q = \frac{S_q}{2 \cdot B_q}$ , avec  $S_q = mod\_moy_q^2$ ,

$$B_q = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N (mod\_moy_q - |m_q(n)|)^2 \text{ et}$$

$$mod\_moy_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N |m_q(n)|^2}, \text{ où } N \text{ est un entier}$$

fixé ;

- iv/ puis détermination d'une seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile en fonction des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ , q= 1 à Q et en fonction d'au moins une desdites premières estimations obtenues  $\hat{s}_q(n)$  du signal utile, q = 1 à

Q.

- [Revendication 2] Procédé de traitement d'un signal analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence selon la revendication 1, comprenant, à l'étape iv/, une étape de comparaison entre elles des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$   $q=1$  à Q, puis une étape de détermination, en fonction de ladite comparaison, de quelle est la voie  $q_0$  parmi les voies 1 à Q ( $CH_q$ ,  $q=1$  à Q) sur laquelle le rapport signal sur bruit estimé est le plus grand, et la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile est déterminée comme égale à ladite première estimation obtenue  $\hat{s}_{q_0}(n)$  du signal utile.
- [Revendication 3] Procédé de traitement d'un signal analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence selon la revendication 1, selon lequel, à l'étape iv/, on détermine la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile, pour  $n \in [1; N]$  en calculant :
- $$\hat{s}(n) = \sum_{q=1}^Q \frac{R\hat{S}B_q}{R\hat{S}B_{tot}} \cdot \hat{s}_q(n)$$
- avec  $R\hat{S}B_{tot} = \sum_{q=1}^Q R\hat{S}B_q$ .
- [Revendication 4] Procédé de traitement d'un signal analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel à l'étape ii, on obtient sur chaque voie q, une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q, par la formule suivante :
- $$\hat{s}_q(n) = \frac{F_c}{2\pi \cdot \Delta f} \cdot \arg(m_q(n) \cdot m_q(n-1)^*), \quad q \in [1; Q]$$
- où  $\Delta f$  est l'excursion de fréquence du signal modulé et  $F_c$  la fréquence d'échantillonnage.
- [Revendication 5] Procédé de traitement d'un signal analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel le signal utile (s) comprend une vidéo analogique au standard PAL ou NTSC.
- [Revendication 6] Programme d'ordinateur, destiné à être stocké dans la mémoire d'un récepteur (10) de communication sans fil d'un signal analogique modulé en fréquence et comprenant en outre un microcalculateur, ledit programme d'ordinateur comprenant des instructions qui, lorsqu'elles sont exécutées sur le microcalculateur, mettent en œuvre les étapes i, ii,

[Revendication 7]

iii et iv d'un procédé selon l'une des revendications précédentes.

Récepteur de communications sans fil (10) adapté pour traiter un signal de communication analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence, ledit récepteur (10) étant adapté pour recevoir le signal analogique ( $S_{FM}(t)$ ) modulé en fréquence par un signal utile (s) et ledit traitement du signal reçu comprenant une démodulation en fréquence dudit signal analogique reçu ;

ledit récepteur (10) étant caractérisé en ce qu'il comprend Q antennes de réception ( $A_1, \dots, A_Q$ ) adaptées chacune pour recevoir le signal analogique modulé en fréquence et Q voies de traitement (CH1, ..., CHQ) associées chacune à une antenne respective, avec  $Q \geq 2$ , et en ce que le traitement par le récepteur sur chaque voie de traitement q, q = 1 à Q comprend :

i/ l'échantillonnage du signal reçu par l'antenne associée à la voie q et l'obtention, par transposition dudit signal échantillonné en bande de base, des échantillons complexes  $m_q(n)$  ;

ii/ l'obtention, sur chaque voie q, d'une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q ;

iii/ sur chaque voie q, l'estimation du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  en

calculant  $R\hat{S}B_q = \frac{S_q}{2 \cdot B_q}$ , avec  $S_q = \text{mod\_moy}_q^2$ ,

$$B_q = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \left( \text{mod\_moy}_q - |m_q(n)| \right)^2 \text{ et}$$

$$\text{mod\_moy}_q = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N |m_q(n)|^2}, \text{ où } N \text{ est un entier fixé ;}$$

le récepteur (10) étant adapté pour déterminer une seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile en fonction des Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$ , q= 1 à Q et en fonction d'au moins une desdites

premières estimations obtenues  $\hat{s}_q(n)$  du signal utile, q = 1 à Q.

[Revendication 8]

Récepteur de communications sans fil (10) selon la revendication 7, adapté pour comparer entre elles les Q estimations du rapport signal sur bruit  $R\hat{S}B_q$  q= 1 à Q, et pour déterminer, en fonction de ladite comparaison, quelle est la voie q0 parmi les voies 1 à Q sur laquelle le rapport signal sur bruit estimé est le plus grand, et pour déterminer la

seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile comme égale à ladite première estimation obtenue  $\hat{s}_{q0}(n)$  du signal utile.

[Revendication 9] Récepteur de communications sans fil (10) selon la revendication 7, adapté pour déterminer la seconde estimation  $\hat{s}(n)$  du signal utile, pour  $n \in [1; N]$  en calculant :

$$\hat{s}(n) = \sum_{q=1}^Q \frac{R\hat{S}B_q}{R\hat{S}B_{tot}} \cdot \hat{s}_q(n)$$

$$\text{avec } R\hat{S}B_{tot} = \sum_{q=1}^Q R\hat{S}B_q$$

[Revendication 10] Récepteur de communications sans fil (10) selon l'une quelconque des revendications 7 à 9, dans lequel sur chaque voie q, le traitement par ledit récepteur comprend une première estimation des valeurs de signal utile  $\hat{s}_q(n)$  en fonction desdits échantillons complexes  $m_q(n)$  obtenus sur la voie q, par la formule suivante :

$$\hat{s}_q(n) = \frac{F_e}{2\pi \cdot \Delta f} \cdot \arg(m_q(n) \cdot m_q(n-1)^*), \quad q \in [1; Q]$$

où  $\Delta f$  est l'excursion de fréquence du signal modulé et  $F_e$  la fréquence d'échantillonnage.

[Fig. 1]

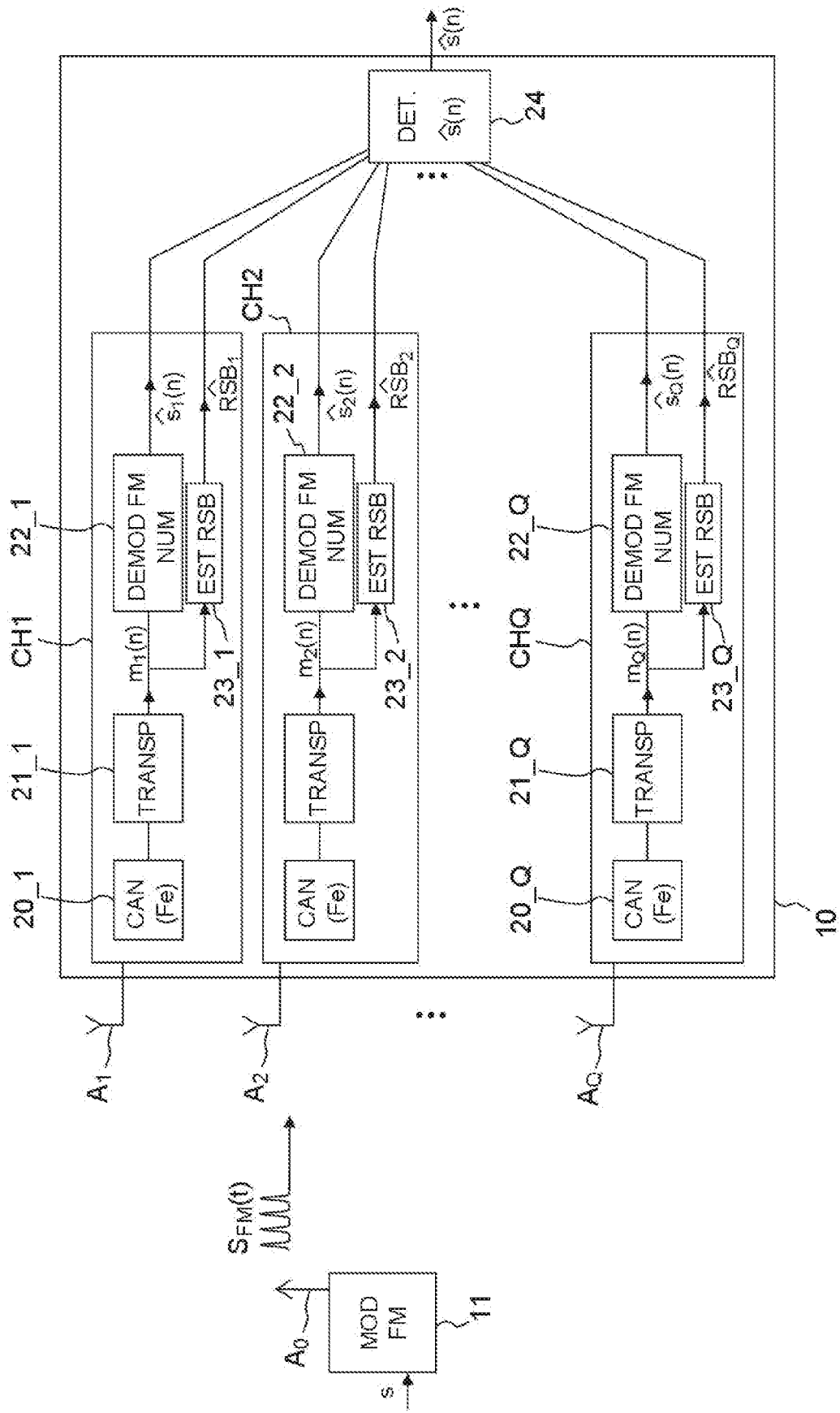


FIG.1

[Fig. 2]

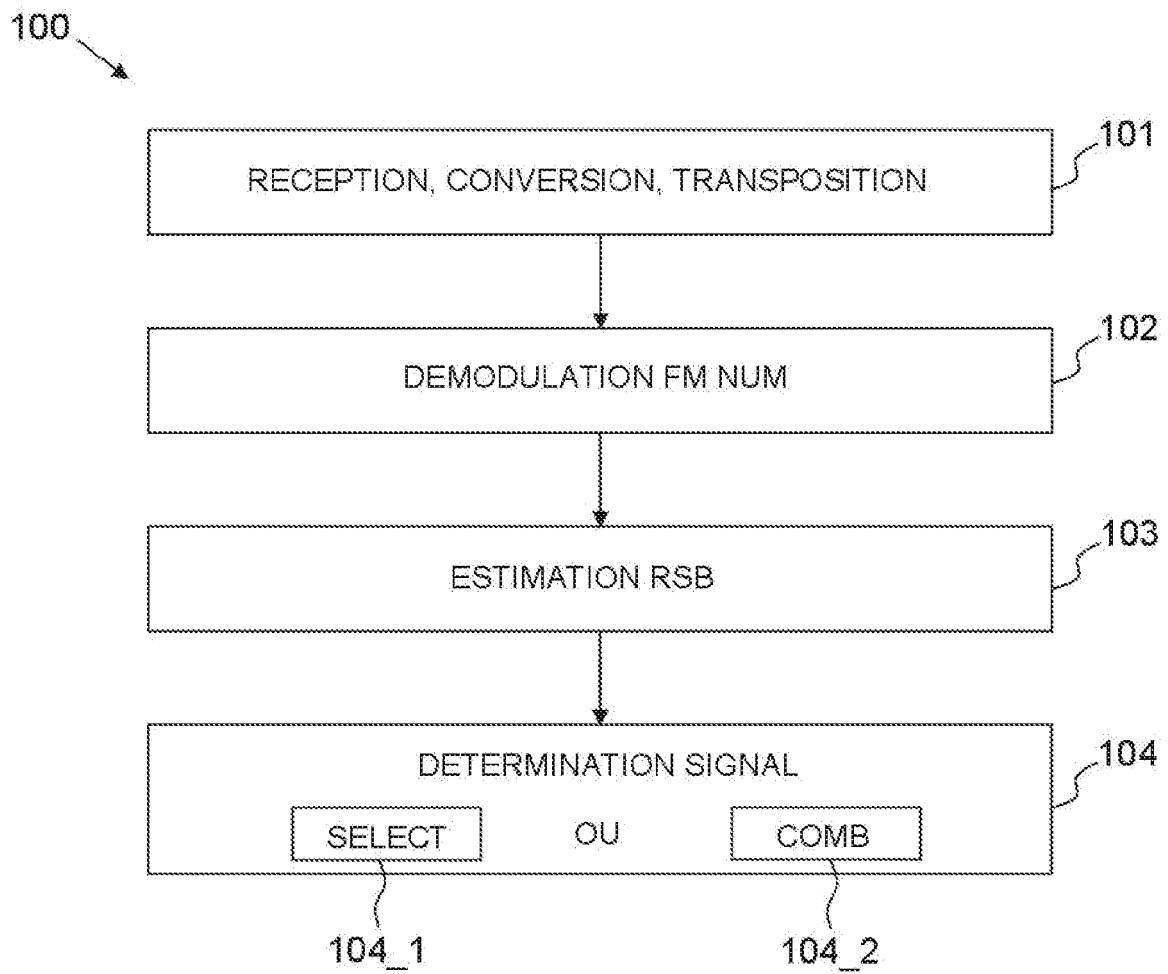


FIG.2

[Fig. 3]

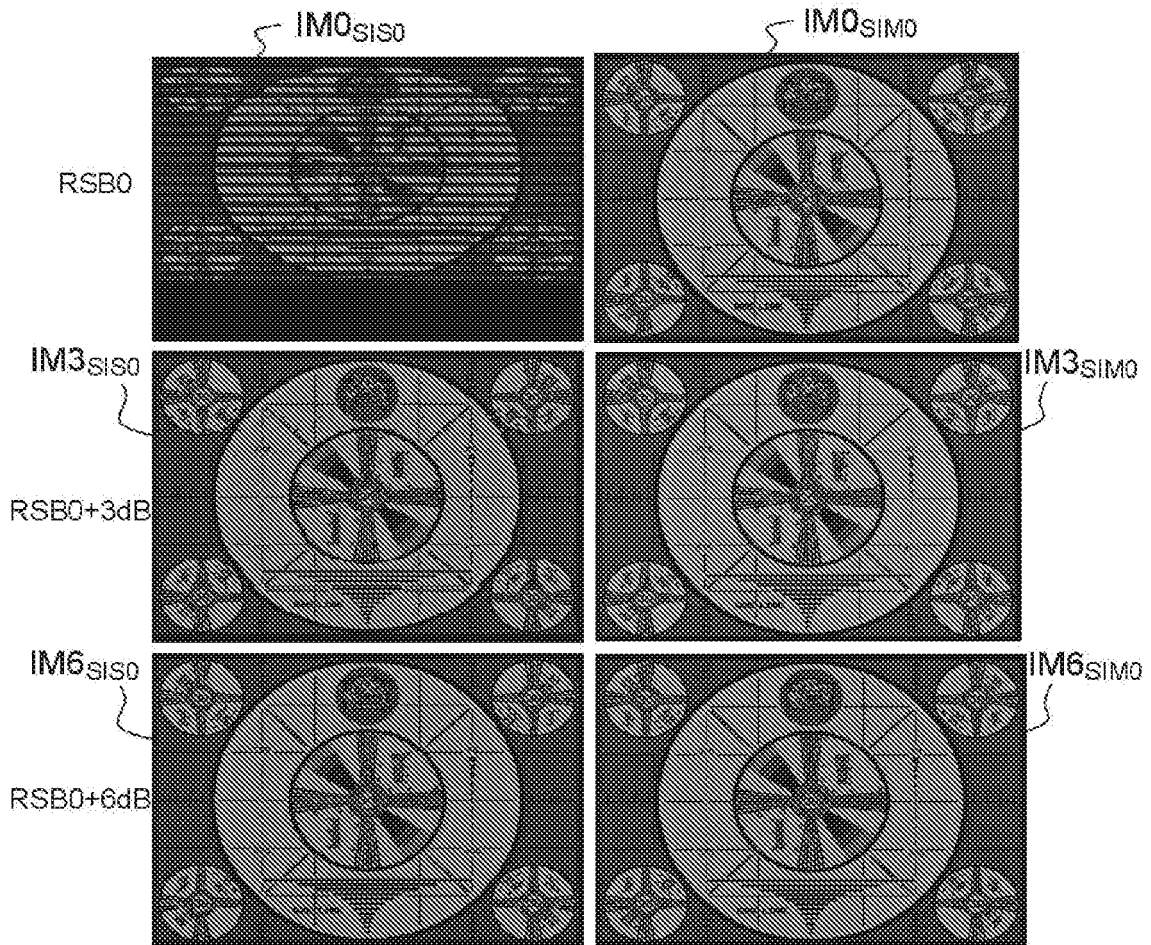


FIG.3

[Fig. 4]

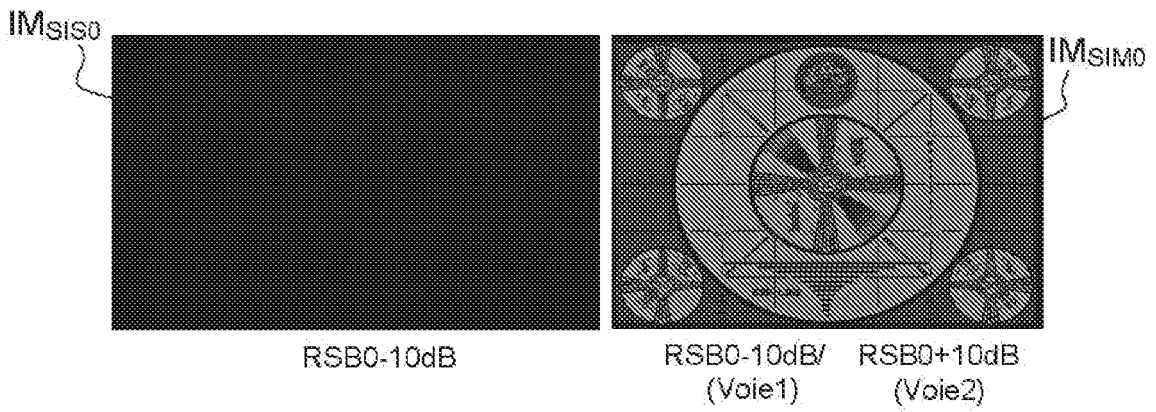


FIG.4

**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

**FA 904353**  
**FR 2114059**

| DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS  |  | Revendication(s)<br>concernée(s)   | Classement attribué<br>à l'invention par l'INPI |
|--|--|--|---|
| Catégorie  | Citation du document avec indication, en cas de besoin,<br>des parties pertinentes   |  |   |
| Y  | US 7 697 913 B2 (DELPHI TECH INC [US])<br>13 avril 2010 (2010-04-13)   | 1, 2, 5-8  | H04B7/08<br>H04B1/10                            |
| A  | * colonne 2, ligne 46 *<br>* colonne 4, ligne 60 - colonne 6, ligne<br>6; figure 3 *   | 3, 4, 9, 10  | H04L27/14                                       |
| Y  | -----<br>BRENDDEL JOHANNES ET AL: "A link quality<br>indicator for analog FM transmission<br>systems",<br>2013, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON<br>SIGNAL PROCESSING AND COMMUNICATION<br>SYSTEMS (ICSPCS), IEEE,<br>16 décembre 2013 (2013-12-16), pages 1-5,<br>XP032555413,<br>DOI: 10.1109/ICSPCS.2013.6723964<br>[extrait le 2014-01-24]                | 1, 2, 5-8  |   |
| A  | * Sectoin III.A *  | 3, 4, 9, 10  |   |
| A  | -----<br>EP 1 753 155 A2 (DELPHI TECH INC [US])<br>14 février 2007 (2007-02-14)<br>* alinéa [0015] - alinéa [0024]; figure 4<br>*  | 1-10   | DOMAINES TECHNIQUES<br>RECHERCHÉS (IPC)         |
| A  | -----<br>Shima James Michael: "FM DEMODULATION<br>USING A DIGITAL RADIO AND DIGITAL SIGNAL<br>PROCESSING",<br>University of Florida,<br>1 janvier 1995 (1995-01-01), XP055951141,<br>Extrait de l'Internet:<br>URL:http://www.hyperdynelabs.com/dspdude/p<br>apers/DigRadio_w_mathcad.pdf<br>[extrait le 2022-08-12]<br>* Chapter 4;<br>figure 4.2 and 4.6 * | 1-10   | H04L<br>H04B                                    |
| Date d'achèvement de la recherche  |  | Examineur  |   |
| 12 août 2022   |  | Devillers, Bertrand  |   |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS  |  |  |   |
| X : particulièrement pertinent à lui seul<br>Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un<br>autre document de la même catégorie<br>A : arrière-plan technologique<br>O : divulgation non-écrite<br>P : document intercalaire |  | T : théorie ou principe à la base de l'invention<br>E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure<br>à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date<br>de dépôt ou qu'à une date postérieure.<br>D : cité dans la demande<br>L : cité pour d'autres raisons<br>.....<br>& : membre de la même famille, document correspondant |   |

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2114059 FA 904353**

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 **12-08-2022**  
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>US 7697913</b>                            | <b>B2</b> | <b>13-04-2010</b>   | <b>AT 527761 T</b>                   | <b>15-10-2011</b>   |
|  |           |                     | <b>EP 1798871 A1</b>                 | <b>20-06-2007</b>   |
|  |           |                     | <b>US 2007142011 A1</b>              | <b>21-06-2007</b>   |
| -----  |           |                     |                                      |                     |
| <b>EP 1753155</b>                            | <b>A2</b> | <b>14-02-2007</b>   | <b>EP 1753155 A2</b>                 | <b>14-02-2007</b>   |
|  |           |                     | <b>US 2007037538 A1</b>              | <b>15-02-2007</b>   |
| -----  |           |                     |                                      |                     |