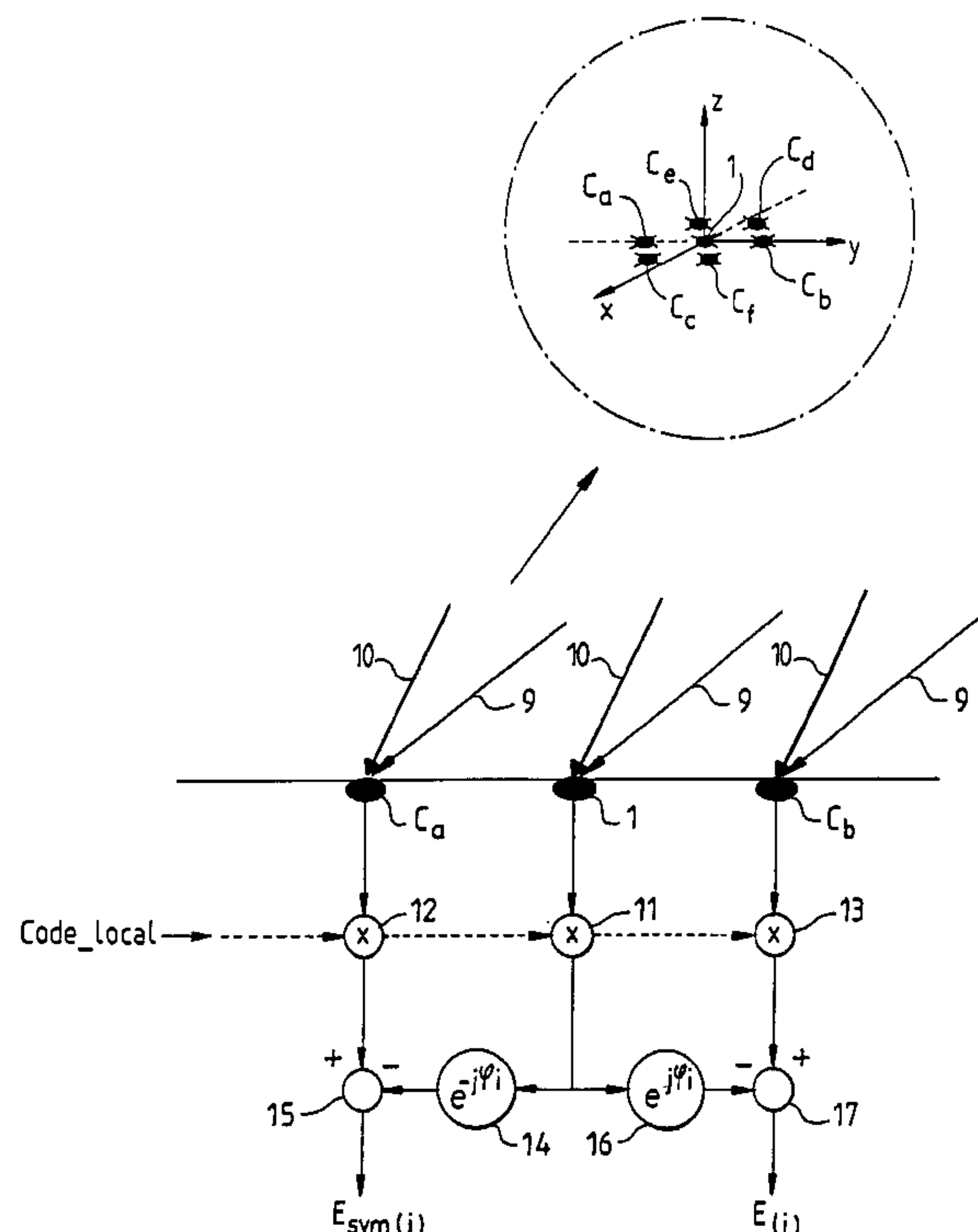




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/11/22
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/05/30
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/05/13
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/004018
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/044987
(30) Priorité/Priority: 2001/11/23 (01/15195) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ H04B 7/08
(71) Demandeur/Applicant:
THALES, FR
(72) Inventeur/Inventor:
LEBLOND, VALERY, FR
(74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : RECEPTEUR DE FAISCEAUX INCIDENTS RESULTANT DE TRAJETS MULTIPLES
(54) Title: MULTIPATH INCIDENT BEAM RECEIVER



(57) **Abrégé/Abstract:**

Procédé d'élimination dans un récepteur d'un signal incident résultant de trajets multiples, caractérisé par le fait qu'on constitue autour d'un capteur principal (1) d'antenne un réseau de $2n$ capteurs auxiliaires (2, 3, C_a à C_f), avec $n \geq 3$, ces capteurs auxiliaires étant tous équidistants du capteur principal et régulièrement espacés entre eux, et, en prenant successivement les couples de capteurs auxiliaires symétriques par rapport au capteur principal pour déterminer la direction d'arrivée du signal résultant des trajets multiples, on effectue la combinaison pondérée des signaux issus des n capteurs, la direction de l'émetteur étant connue ($e^{j\varphi_i}$).



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
30 mai 2003 (30.05.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/044987 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : H04B 7/08(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
THALES [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008
Paris (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR02/04018(22) Date de dépôt international :
22 novembre 2002 (22.11.2002)

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **LEBLOND,**
Valéry [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 13, av. du
Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

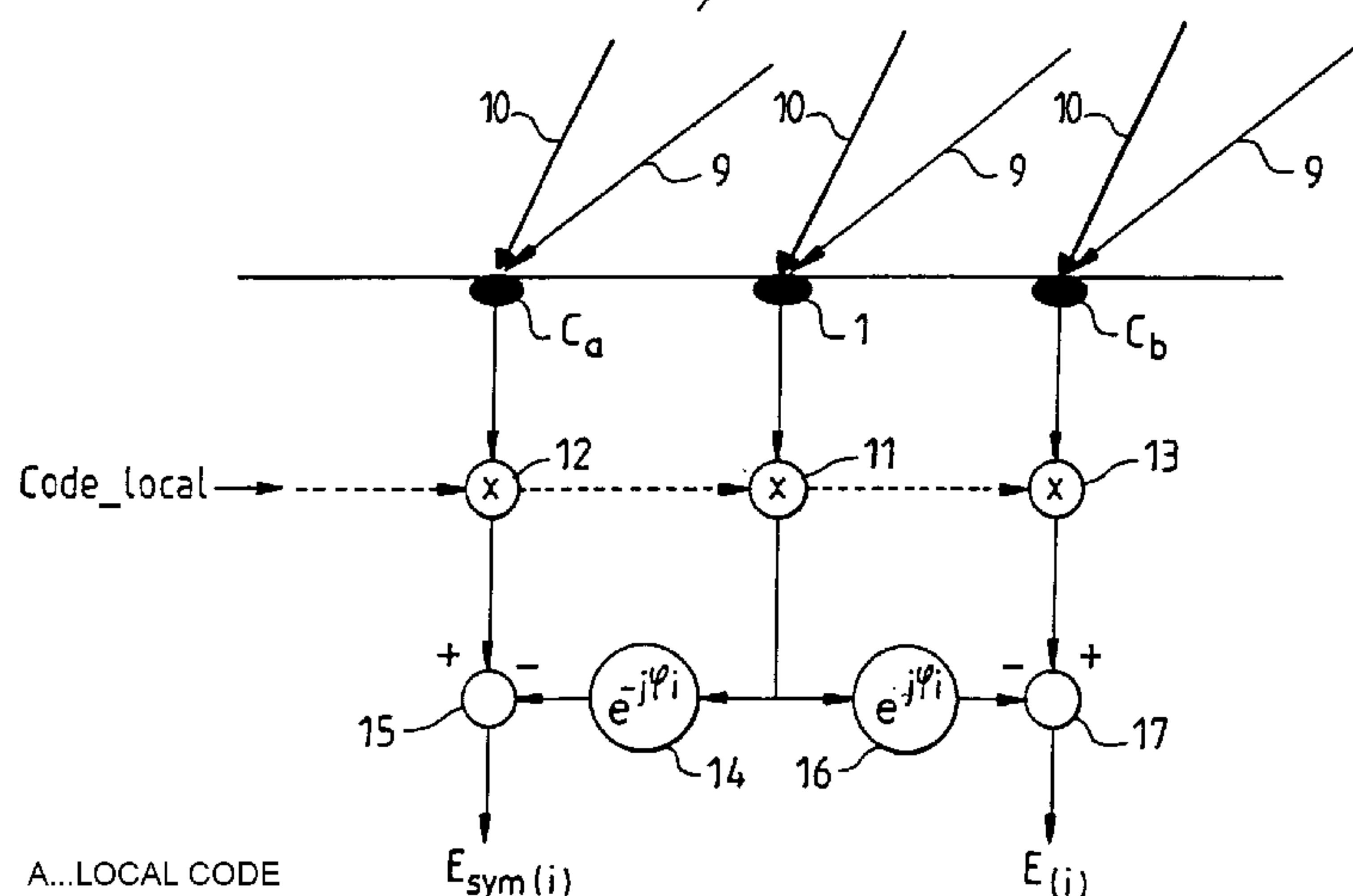
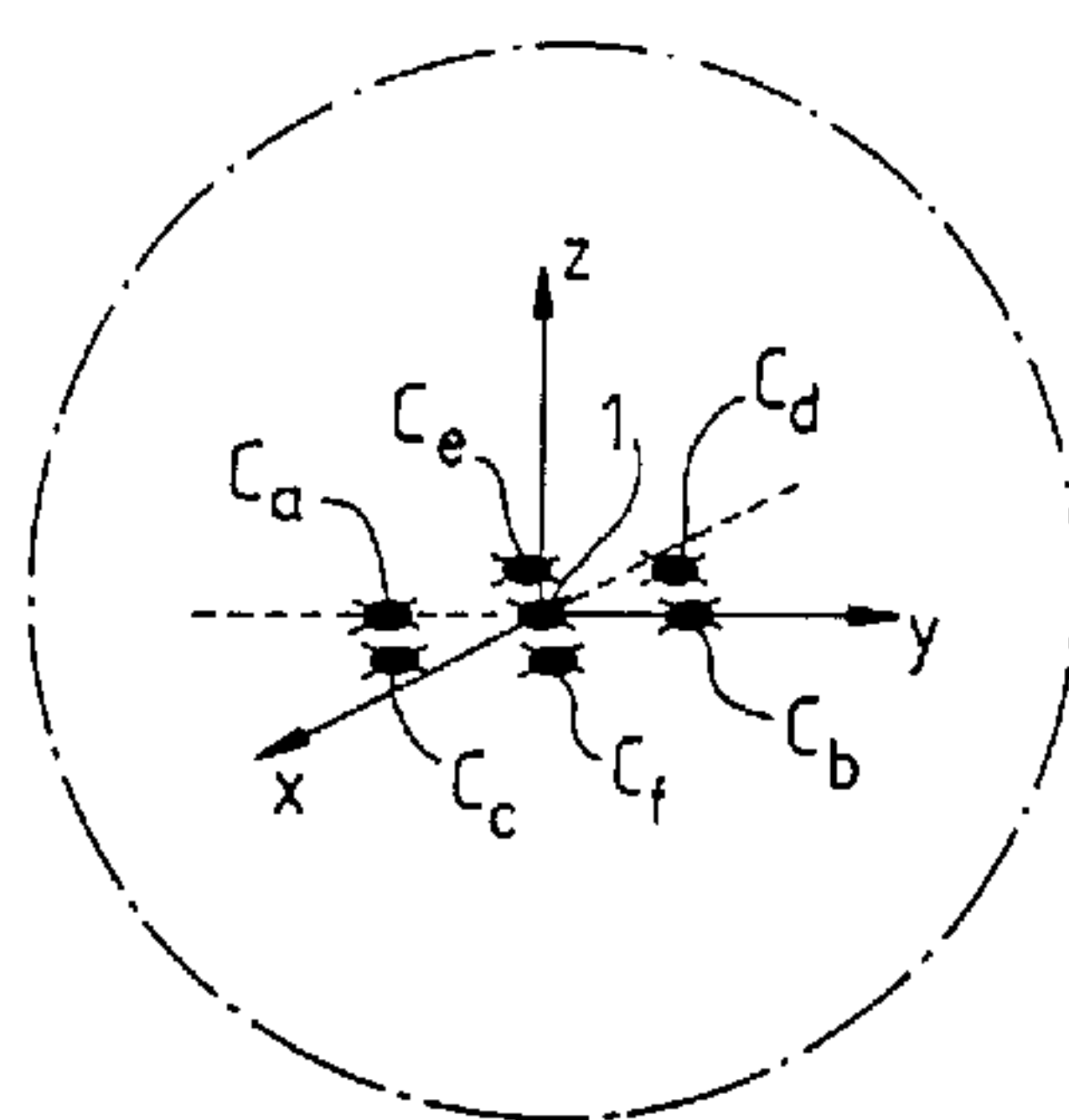
(74) Mandataires : **CHAVERNEFF, Vladimir** etc.; Thales
Intellectual Property, 13, av. du Prés. Salvador Allende,
F-94117 Arcueil Cedex (FR).(30) Données relatives à la priorité :
01/15195 23 novembre 2001 (23.11.2001) FR

(81) États désignés (national) : CA, US.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MULTIPATH INCIDENT BEAM RECEIVER

(54) Titre : RECEPTEUR DE FAISCEAUX INCIDENTS RESULTANT DE TRAJETS MULTIPLES



(57) **Abstract:** The invention concerns a method for suppressing in a multipath signal receiver, characterized in that it consists in forming around the main antenna sensor (1) a network of $2n$ auxiliary sensors (2, 3, C_a to C_f), with $n \geq 3$, said auxiliary sensors being all equidistant from the main sensor and uniformly spaced apart from one another, and, taking successively the pairs of auxiliary sensors symmetrical relative to the main sensor to determine the arrival direction of the multipath signal from, in performing a weighted combination of the signals derived from the n sensors, the direction of the transmitter being known ($e^{j\varphi_i}$).

(57) **Abrégé :** Procédé d'élimination dans un récepteur d'un signal incident résultant de trajets multiples, caractérisé par le fait qu'on constitue autour d'un capteur principal (1) d'antenne un réseau de $2n$ capteurs auxiliaires (2, 3, C_a à C_f), avec $n \geq 3$, ces capteurs auxiliaires étant tous équidistants du capteur principal et régulièrement espacés entre eux, et, en prenant successivement les couples de capteurs auxiliaires symétriques par rapport au capteur principal pour déterminer la direction d'arrivée du signal résultant des trajets multiples, on effectue la combinaison pondérée des signaux issus des n capteurs, la direction de l'émetteur étant connue ($e^{j\varphi_i}$).

WO 03/044987 A1

WO 03/044987 A1



(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

RECEPTEUR DE FAISCEAUX INCIDENTS RESULTANT DE TRAJETS MULTIPLES

La présente invention se rapporte à un procédé d'élimination, dans un récepteur, de faisceaux incidents résultant de trajets multiples, et à un dispositif de mise en œuvre de ce procédé.

Les systèmes permettant aujourd'hui de renforcer la résistance
5 aux trajets multiples dans les récepteurs de radionavigation sont la plupart du temps basés sur l'utilisation de corrélateurs plus ou moins particuliers (corrélateur étroit, corrélateur double delta, etc), permettant d'éviter de prendre en compte les trajets multiples retardés d'une distance plus ou moins importante, toujours inférieure à deux fois la longueur du chip du code
10 pseudoaléatoire utilisé T, c'est-à-dire la période des signaux d'horloge des codes des signaux de radionavigation (par exemple, pour les signaux de type « Global Positioning System », GPS, 1 chip = 1 μ s en code C/A, soit ~300m, ou 100 ns en code P, soit ~30m). Néanmoins, pour des trajets multiples de retards faibles vis-à-vis de la longueur du chip, ces corrélateurs se révèlent
15 inefficaces.

On connaît d'après le brevet U.S. 6 175 327 un procédé d'élimination d'interférences dans des récepteurs de signaux de radionavigation GPS. Ce procédé utilise une technique d'inversion de puissance faisant appel à un réseau de n antennes dont les signaux sont
20 pondérés individuellement par inversion d'une matrice d'inter-corrélation et utilisation d'une contrainte canonique ne représentant pas une direction de réception particulière, mais un critère de « minimisation de la puissance reçue en tenant compte de toutes les directions de l'espace ». Ce procédé connu d'élimination d'interférences n'est applicable qu'à des signaux dont la
25 puissance ramenée sur chaque capteur est supérieure au niveau de puissance due au bruit thermique. En outre, ce traitement est réalisé sans connaissance préalable de la direction d'arrivée du signal que l'on souhaite éliminer. Il est donc impossible avec ce seul procédé connu de déterminer la direction d'arrivée d'un ou plusieurs signaux dus à des trajets multiples, ni de
30 les éliminer : ces derniers sont en effet d'un niveau de puissance ramenée à l'entrée du récepteur inférieur au niveau de puissance du signal principal (trajet direct), lui-même de niveau de puissance plus faible que celui du bruit

thermique généré dans la bande spectrale de traitement (bande passante en entrée du récepteur).

La présente invention a pour objet un procédé permettant d'éliminer à la réception un signal du à des trajets multiples et provenant d'une direction autre que celle de l'émetteur, quel que soit son retard par rapport au signal provenant directement de l'émetteur.

Le procédé de l'invention est un procédé de détermination de la direction d'arrivée puis d'élimination, dans un récepteur, d'un signal incident résultant de trajets multiples, de puissance reçue, dans la bande spectrale de traitement, plus faible que celle du bruit thermique du récepteur ; il est appliqué à une antenne constituée autour d'un capteur principal d'antenne et comportant un réseau de capteurs auxiliaires, ces capteurs auxiliaires étant tous équidistants du capteur principal et régulièrement espacés entre eux. Le procédé est caractérisé en ce que le réseau de capteurs auxiliaires comporte 2n capteurs auxiliaires, avec $n \geq 3$, et, qu'en prenant successivement les couples de capteurs auxiliaires symétriques par rapport au capteur principal, pour déterminer la direction d'arrivée du signal résultant des trajets multiples, on effectue la combinaison pondérée des signaux issus des n capteurs, la direction de l'émetteur de signaux utiles étant connue.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un mode de mise en œuvre, pris à titre d'exemple non limitatif et illustré par le dessin annexé, sur lequel :

- La figure 1 est un schéma de principe illustrant le procédé de traitement conforme à l'invention, et
- La figure 2 est un schéma montrant un peu plus en détail qu'en figure 1 le procédé de traitement des signaux issus des capteurs auxiliaires, conformément à l'invention.

On a illustré en figure 1, de façon très simplifiée, la mise en œuvre des caractéristiques principales du procédé de l'invention. Ce procédé est appliqué, dans le cas présent, à des signaux de radionavigation émis par un satellite, tel qu'un satellite GPS, faisant partie d'une constellation de satellites de positionnement, mais il est bien entendu que l'invention n'est pas limitée à cette seule application, et qu'elle peut être mise en œuvre dans d'autres applications, par exemple la réception de signaux émis par des émetteurs

terrestres, à condition de connaître la direction dans laquelle sont situés ces émetteurs par rapport au lieu de réception.

On a représenté en figure 1 un capteur principal 1 et deux capteurs auxiliaires 2, 3 qui sont alignés avec le capteur 1 et disposés symétriquement par rapport à ce dernier. Chacun des capteurs 1 à 3 est relié à un circuit de pondération complexe, respectivement 4 à 6. Les trois circuits 4 à 6 sont reliés à un circuit sommateur 7, à la sortie 8 duquel on recueille un signal S_{out} qui ne comporte que le signal utile, c'est-à-dire un signal provenant directement de l'émetteur du satellite, non affecté de signaux parasites dus à des réflexions multiples du signal de l'émetteur sur des obstacles divers et parvenant aux différents capteurs avec le signal utile. On a représenté sur la figure 1, sous forme de demi-droites fléchées 9, la direction d'arrivée des trajets directs des ondes entre l'émetteur (par exemple un satellite dans le cas des signaux GPS) et les capteurs 1 à 3. De même, on a représenté sous forme de demi-droites fléchées 10 la direction d'arrivée d'un trajet non direct (c'est-à-dire après une ou plusieurs réflexions) entre l'émetteur du satellite précité et les mêmes capteurs 1 à 3. Le procédé de l'invention consiste à éliminer tout faisceau arrivant dans la direction autre que la direction des faisceaux 9, par un traitement utilisant les signaux reçus par les capteurs auxiliaires. Ce traitement consiste essentiellement à combiner de façon pondérée les signaux de ces capteurs auxiliaires avec le signal du capteur principal 1. La détermination des coefficients de pondération peut être réalisée par des algorithmes de type « inversion de puissance sous contrainte », ou bien selon la méthode « directe » décrite en détail ci-dessous, en référence à la figure 2. Dans tous les cas, on utilisera le procédé de détermination de la direction d'incidence du signal issu de trajets multiples décrit ci-après.

Sur la figure 2, on a représenté le capteur principal 1 et deux capteurs auxiliaires C_a , C_f alignés avec le capteur 1. Ces capteurs font partie des six capteurs auxiliaires C_a à C_f entourant le capteur 1. Tous ces capteurs sont, dans le cas présent, situés sur un cercle, centré sur le capteur 1 et régulièrement espacés sur ce cercle.

Soit $\varphi_i = \overrightarrow{k_{direct}} \cdot \overrightarrow{1C_a}$ avec $\overrightarrow{k_{direct}}$ vecteur d'onde du signal direct incident. Soit $\psi_i = \overrightarrow{k_{parasite}} \cdot \overrightarrow{1C_a}$ avec $\overrightarrow{k_{parasite}}$ vecteur d'onde du signal

parasite incident (dû à des réflexions multiples du faisceau du satellite considéré). Le signal direct du satellite est reçu sur le capteur Ca avec un déphasage $e^{j\varphi_i}$ par rapport au signal direct reçu sur le capteur central 1. Le signal parasite est quant à lui reçu sur le capteur Ca avec un déphasage $e^{j\psi_i}$ par rapport au signal parasite reçu sur le capteur central 1.

Comme indiqué sur la figure 2, les signaux des capteurs 1 et Ca sont corrélés (multipliés) en 11 et 12 respectivement avec le code PRN local (élaboré dans le récepteur). Le résultat de la corrélation en 11 est affecté en 14 d'un déphasage $e^{j\varphi_i}$ et soustrait en 15 du résultat de la corrélation venant de 12. Le résultat de la soustraction en 15 donne E_i . Ainsi, on obtient pour chacun des capteurs auxiliaires Ca, Cb, Cc, Cd, Ce et Cf la valeur de l'expression : $E_i = \chi_i - e^{j\varphi_i} \cdot \chi_o$, expression dans laquelle χ_i est le résultat de la corrélation entre le code du signal reçu sur le capteur C_i (avec i allant de a à f) et le code local, et χ_o étant le résultat de la corrélation entre le code du signal reçu sur le capteur 1 et le code local.

On appelle S_i le signal reçu sur le capteur C_i , S_o le signal reçu sur le capteur 1 (le signal reçu comprend le signal du faisceau direct et le signal du faisceau parasite), A_{gps} l'amplitude du signal direct contenu dans S_i , $code_{gps}$ et $code_{mul}$ les codes PRN du signal du faisceau direct et du faisceau parasite (il s'agit évidemment des mêmes codes déphasés l'un par rapport à l'autre), a le facteur d'atténuation d'amplitude du signal parasite reçu lors de l'ensemble des réflexions qu'il a subies et Ω la rotation de phase globale subie par le signal parasite lors de ces mêmes réflexions. On obtient alors :

$$\begin{aligned}
 E_i &= (S_i - e^{j\varphi_i} \cdot S_o) \otimes code_{local} \\
 &= (A_{gps} \cdot (code_{gps} \cdot e^{j\varphi_i} + a \cdot code_{mul} \cdot e^{j\Omega} \cdot e^{j\psi_i}) - e^{j\varphi_i} \cdot A_{gps} \cdot (code_{gps} + a \cdot code_{mul} \cdot e^{j\Omega}) \\
 &\quad + \text{bruit}) \otimes code_{local} \\
 &= (A_{gps} \cdot a \cdot code_{mul} \cdot e^{j\Omega} \cdot (e^{j\psi_i} - e^{j\varphi_i})) \otimes code_{local} + \text{bruit} \otimes code_{local} \\
 &= (A_{gps} \cdot a \cdot code_{mul} \cdot e^{j\Omega} \cdot e^{j\varphi_i} (e^{j(\psi_i - \varphi_i)} - 1)) \otimes code_{local} + 0
 \end{aligned}$$

$$= \left(A_{\text{gps}} \cdot a \cdot e^{j\Omega} \cdot e^{j\left(\frac{\psi_i + \varphi_i}{2}\right)} \cdot 2j \cdot \sin\left(\frac{\psi_i - \varphi_i}{2}\right) \right) \cdot (\text{code}_{\text{mul}} \otimes \text{code}_{\text{local}})$$

Dans ces expressions, le signe $\otimes$ représente l'opération de corrélation (ou multiplication).

5 On pourra de même obtenir l'expression $E_{\text{sym}(i)}$ en appliquant le même type de calcul non pas au point C_i mais au point $C_{\text{sym}(i)}$ (par exemple, si $i=a$, $\text{sym}(i)=f$).

Si on évalue alors l'expression Ratio_i suivante :

$$10 \quad \text{Ratio}_i = \frac{E_i}{E_{\text{sym}(i)}} \cdot \frac{-1}{e^{j\varphi_i}}$$

On obtient :

$$\text{Ratio}_i = e^{j\psi_i}$$

15

Ceci signifie que l'on obtient ainsi la valeur $e^{j\psi_i}$ du déphasage induit par le réseau de capteurs à l'emplacement du capteur C_i , sur le trajet du faisceau parasite, ce qui revient à identifier la direction d'incidence de ce faisceau parasite.

20 Ensuite, on combine de manière pondérée, par exemple une combinaison par addition, les signaux provenant des n capteurs ($n = 7$ dans le cas présent). Le coefficient de pondération du signal recueilli par le capteur central est $-(n-1)$, tandis que le signal recueilli par chacun des capteurs auxiliaires (i) est affecté du coefficient égal à $\text{Ratio}_{\text{sym}(i)}$. De cette
25 façon, on élimine dans le signal résultant de la combinaison pondérée le signal dû au faisceau parasite.

Selon une variante du procédé de l'invention, au lieu de la combinaison pondérée décrite ci-dessus, on met en œuvre un procédé d'inversion de puissance sous contrainte en utilisant fictivement lors du calcul
30 numérique en entrée une représentation numérique d'un signal à bande étroite très puissant dans la direction d'arrivée du faisceau à trajets multiples.

Comme mentionné ci-dessus, une application préférée du procédé de l'invention est le traitement de signaux de satellites de radionavigation, traitement qui nécessite de réaliser sept corrélations et pondérations sur les signaux reçus, ainsi qu'une corrélation habituelle sur le signal reconstitué (après les combinaisons pondérées) pour que ce signal reconstitué puisse être utilisé classiquement par le dispositif de traitement de signal usuel du récepteur de radionavigation utilisé. Bien entendu, ce procédé suppose que l'on connaît la direction du satellite poursuivi, c'est-à-dire que l'on connaît les valeurs correspondantes de $e^{j\varphi_i}$ (ce qui est vrai puisque l'on dispose habituellement d'almanachs et éphémérides donnant les trajectoires des satellites émetteurs des signaux de radionavigation). Ceci suppose qu'il y a un lien très étroit entre le traitement des signaux d'antenne et le traitement de poursuite de radionavigation, ce qui est également vrai si ces deux traitements sont effectués dans le même récepteur de signaux de satellites.

S'il s'agit de signaux émis par un émetteur terrestre et utilisant de même un procédé de type mesure de code, il est tout à fait envisageable d'utiliser les méthodes citées plus haut dans la mesure où l'on connaît a priori la position des émetteurs (c'est par exemple le cas pour des stations sol d'augmentation locale émettrices fixes...).

REVENDICATIONS

1. Procédé d'élimination dans un récepteur d'un signal incident résultant de trajets multiples, de puissance reçue, dans la bande traitement, plus faible que celle du bruit thermique du récepteur, appliqué à une antenne constituée autour d'un capteur principal d'antenne et comportant un réseau
 5 de capteurs auxiliaires, ces capteurs auxiliaires étant tous équidistants du capteur principal et régulièrement espacés entre eux, caractérisé par le fait que le réseau de capteurs auxiliaires comporte $2n$ capteurs auxiliaires (2, 3, C_a à C_f), avec $n \geq 3$, et, qu'en prenant successivement les couples de capteurs auxiliaires symétriques par rapport au capteur principal pour
 10 déterminer la direction d'arrivée du signal résultant des trajets multiples, on effectue la combinaison pondérée des signaux issus des n capteurs, la direction de l'émetteur étant connue.

2. Procédé selon la revendication 1 pour des signaux de satellites, caractérisé par le fait que pour un nombre n de capteurs, on effectue, pour le
 15 capteur principal une pondération de $-(n-1)$, et pour chacun des capteurs auxiliaires de rang i une pondération de $\text{Ratio}_{\text{sym}(i)}$, puis une sommation de toutes les valeurs pondérées, avec : $\text{Ratio}_{(i)} = \frac{E_{(i)}}{E_{\text{sym}(i)}} \cdot \frac{-1}{e^{j\phi_i}}$, expression dans laquelle $E_{(i)} = (\chi_i - e^{j\phi_i} \cdot \chi_o)$, χ_i étant le produit entre le code du signal reçu sur le capteur i et le code local, χ_o étant le même produit pour le capteur
 20 principal, $e^{j\phi_i}$ étant le déphasage induit sur le capteur considéré par le signal direct, $E_{\text{sym}(i)}$ étant la valeur homologue de $E_{(i)}$ pour le capteur symétrique du capteur i par rapport au capteur principal et $\text{Ratio}_{\text{sym}(i)}$ la valeur homologue de $\text{Ratio}_{(i)}$ pour le capteur symétrique du capteur i considéré par rapport au capteur principal.

25 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que la pondération met en œuvre un procédé d'inversion de puissance sous contrainte en utilisant fictivement en tant que valeur de départ un signal à bande étroite très puissant qui proviendrait de la direction d'arrivée du signal à trajets multiples.

30 4. Dispositif d'élimination, dans un récepteur, de signaux incidents résultant de trajets multiples, caractérisé par le fait qu'il comporte un capteur principal d'antenne (1) autour duquel est disposé un réseau de $2n$ capteurs

auxiliaires (Ca à Cf), ces capteurs étant disposés sur un cercle centré sur le capteur principal et régulièrement espacés entre eux, ces capteurs étant reliés à des circuits de pondération (14, 16) et de combinaison (15, 17).

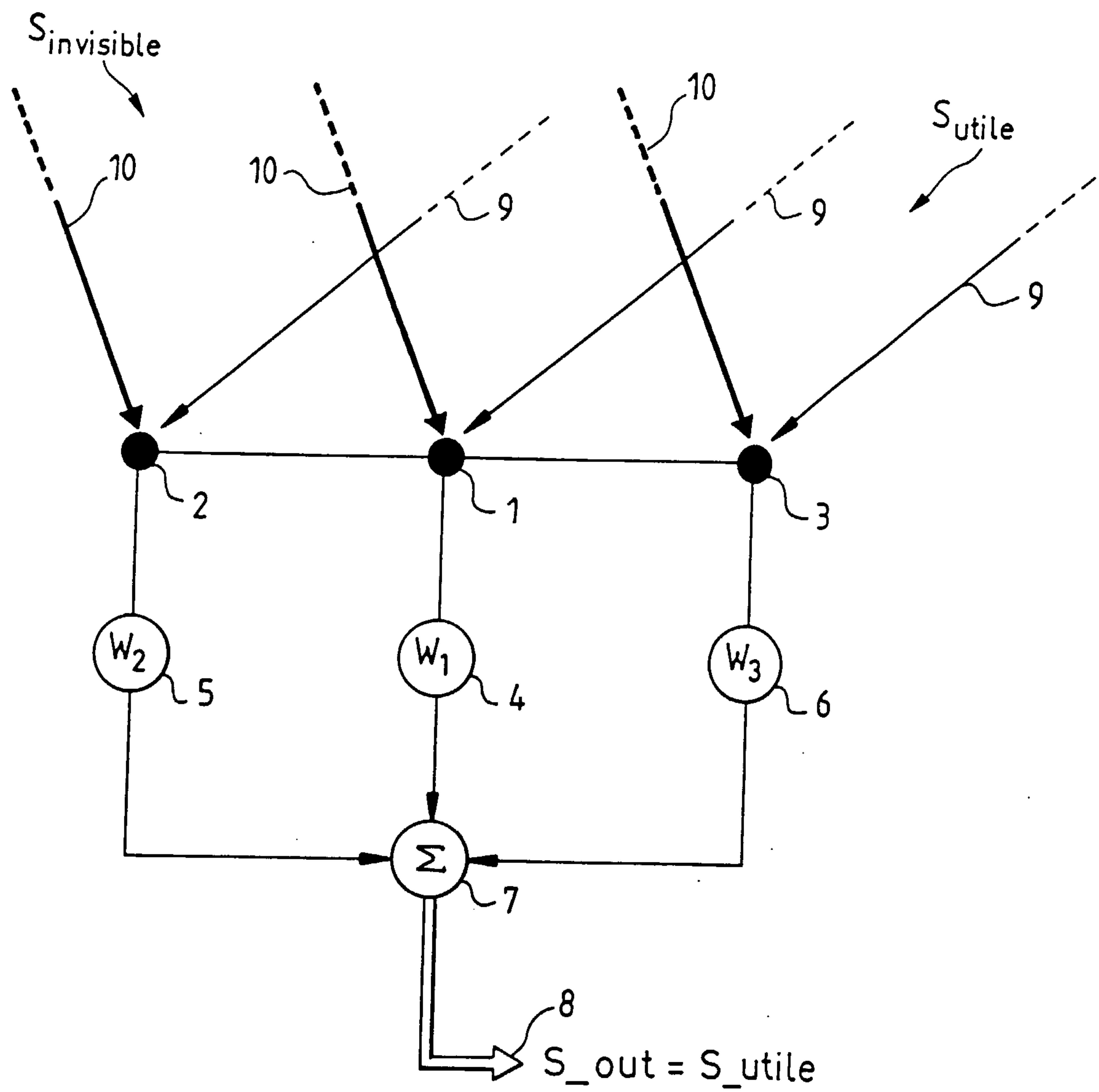


FIG.1

2/2

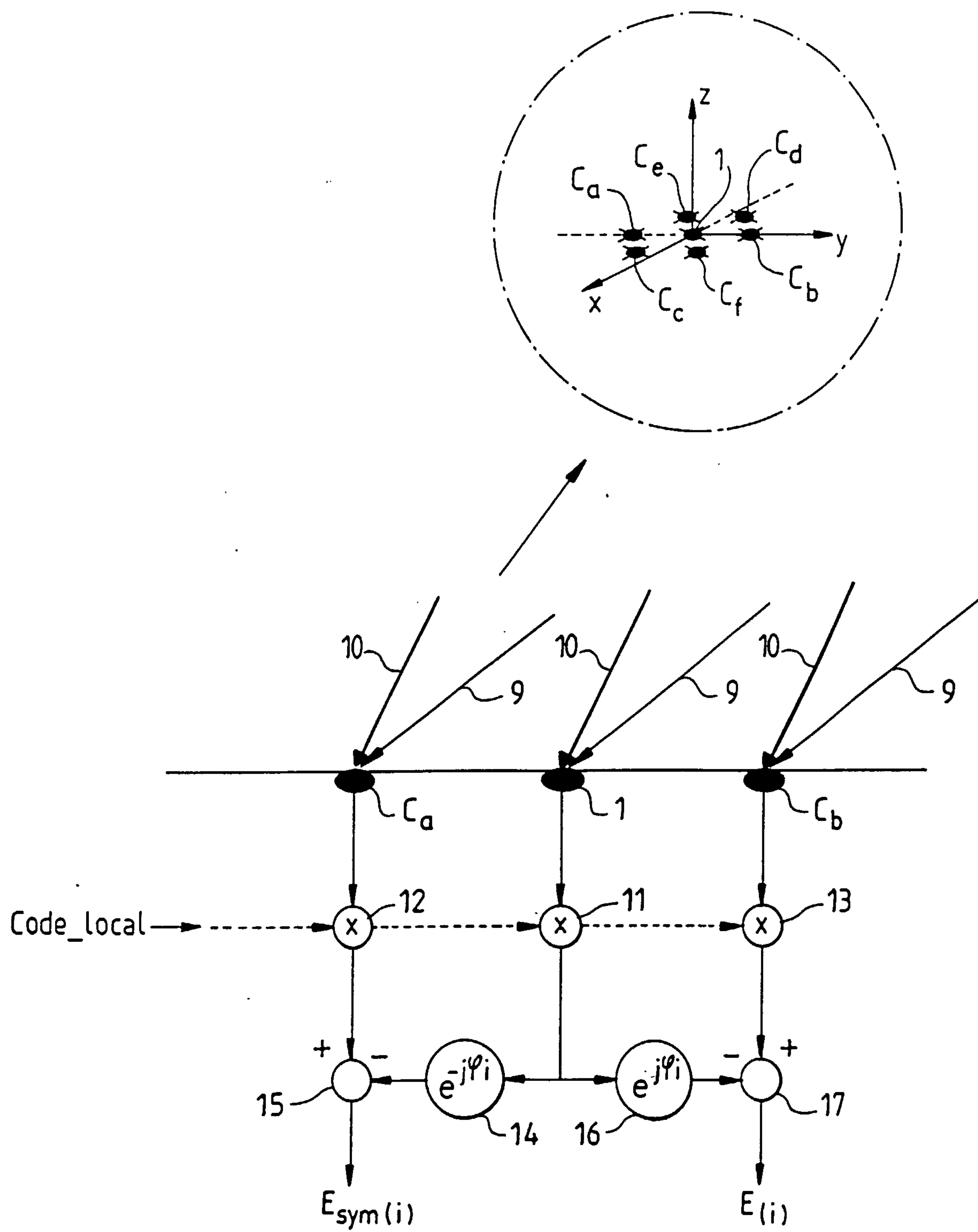


FIG. 2

